

GUY LE BRIS

Les Constructions métalliques

PARIS
ANCIENNE MAISON QUANTIN

ŕix

LES

CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE

OUVRAGES PARUS

A. Badoureau. — Les Sciences expérimentales (nouvelle édition entièrement refondue).

O. Chemin et F. Verdier. — La Houille et ses dérivés.

P. Lefèvre et G. Cerbelaud. — Les Chemins de fer.

E. Lisbonne. — La Navigation maritime.

H. Deutsch (de la Meurthe). — Le Pétrole.

Badoureau et Grangier. — Les Mines, les Minières et les Carrières.

EN PRÉPARATION

Bère. — Les Tabacs.

Estaunie. — L'Électricité.

Combes. — La Chimie des couleurs.

BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

De MM. J. PICHOT et POL LEFÈVRE, anciens élèves de l'École Polytechnique.

LES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

PAR

GUY LE BRIS

Ingénieur civil des Mines,
Ingénieur chef du service central de la Direction des travaux
à la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.

PARIS

ANCIENNE MAISON QUANTIN

LIBRAIRIES-IMPRIMERIES RÉUNIES

7, rue Saint-Benoît

MAY ET MOTTEROZ, DIRECTEURS

PRÉFACE

Chaque exposition universelle a été le triomphe de quelque invention ou de quelque procédé nouveau; chacune d'elles a été caractérisée par un ou plusieurs faits importants.

L'Exposition universelle de 1889 aura été le triomphe du fer, et la construction métallique aura été sa caractéristique.

Cette exposition, en effet, a été bien plus remarquable par ses palais eux-mêmes que par les objets qui y ont été exposés.

Peu de choses à dire de ces derniers, du moins en tant que nouveautés; tout à admirer en ce qui touche les constructions métalliques.

Les progrès réalisés dans ce genre de construction ont frappé tous les esprits : connaissance approfondie du métal; utilisation de ce métal raisonnée et savamment déduite des calculs de résistance; modes nouveaux de construction adoptés par l'architecture moderne qui a généralisé une formule, sinon nouvelle, du moins peu usitée, pour l'emploi du fer dans l'art.

La fin de notre siècle aura été caractérisée par une poussée

formidable dans le sens de l'introduction du métal dans les constructions, aussi bien dans les bâtiments plus spécialement du domaine de l'architecture que dans les ouvrages tels que les ponts et les viaducs, dont plusieurs spécimens remarquables existent depuis longtemps.

Aussi croyons-nous que le modeste livre que nous présentons au public est tout d'actualité. Le lecteur y trouvera condensées, avec autant de détails que le comporte le format de ce livre, toutes les questions concernant la construction métallique, qui font d'habitude l'objet de traités spéciaux et volumineux.

Et même, si nous sommes bien renseigné, notre livre serait le premier ouvrage de vulgarisation qui ait paru sur les constructions métalliques et, en ce qui concerne plus spécialement les charpentes, il serait le premier travail d'ensemble qui ait été publié jusqu'ici.

Nous n'avons pas la prétention de faire un ouvrage pour les gens du métier; nous serions entraînés dans des considérations trop vastes et trop arides pour la généralité des lecteurs; nous serons très heureux cependant si les ingénieurs trouvent à notre livre quelque utilité en raison de la réunion de renseignements qu'il présente.

Nous pensons aussi qu'il sera d'un certain intérêt pour les officiers de notre armée qui doivent connaître les modes de construction des ouvrages métalliques et les moyens dont on dispose pour le rétablissement rapide des communications qui joue un rôle si important en temps de guerre. Aussi avons-nous consacré un chapitre aux ponts dits militaires et autres ouvrages similaires.

Nous renvoyons le lecteur qui désirera approfondir les

questions multiples que nous ne pouvons qu'effleurer aux ouvrages de nos maîtres : Collignon, Bresse, Hausser, Croizette-Desnoyers, Morandière, etc.

Nous avons puisé nos renseignements aux sources les plus autorisées et les plus exactes, telles que les mémoires et notes de MM. Lavoinne et Pontzen, Bricka, Walmysley (Iron Roofs) et les publications : *les Nouvelles annales de la construction, les Annales des travaux publics, les Annales des ponts et chaussées, le Génie civil, la Revue générale des chemins de fer, l'Engineering,* etc. Mais c'est surtout au *Traité de la construction des ponts et viaducs en pierre, en charpente et en métal,* par Morandière, inspecteur général des Ponts et Chaussées, que nous avons fait les plus nombreux emprunts, et nous devons des remerciements à M[me] V[ve] Ch. Dunod, éditeur, 49, quai des Augustins, qui nous a gracieusement permis de reproduire des extraits et des dessins de cet important et remarquable ouvrage publié par ses soins.

LES
CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

INTRODUCTION

Métaux employés dans les constructions métalliques.
Formes sous lesquelles ils entrent dans ces constructions.
Essais des métaux. — Division de l'ouvrage.

Les métaux dont l'emploi caractérise la construction métallique sont la fonte, le fer et l'acier.

On sait que la distinction entre ces produits est assez subtile, que la limite qui sépare le fer et l'acier est délicate à saisir et qu'il est difficile de dire où commence le premier, où finit le second.

La transformation de l'industrie du fer, et par là nous entendons parler du fer et de l'acier, a fait d'énormes progrès à partir de 1860 et a poursuivi sa marche rapide jusqu'en 1878, époque qui marque dans les annales de la métallurgie. Depuis, les procédés de fabrication se sont encore perfectionnés.

La production s'est d'ailleurs développée dans une forte proportion et la marche progressive de l'emploi du métal dans les travaux publics a suivi de près les progrès de la métallurgie. Il devait en être ainsi.

Rappelons comment les procédés de fabrication se sont successivement perfectionnés :

En 1878, c'était la méthode Bessemer que l'on appliquait

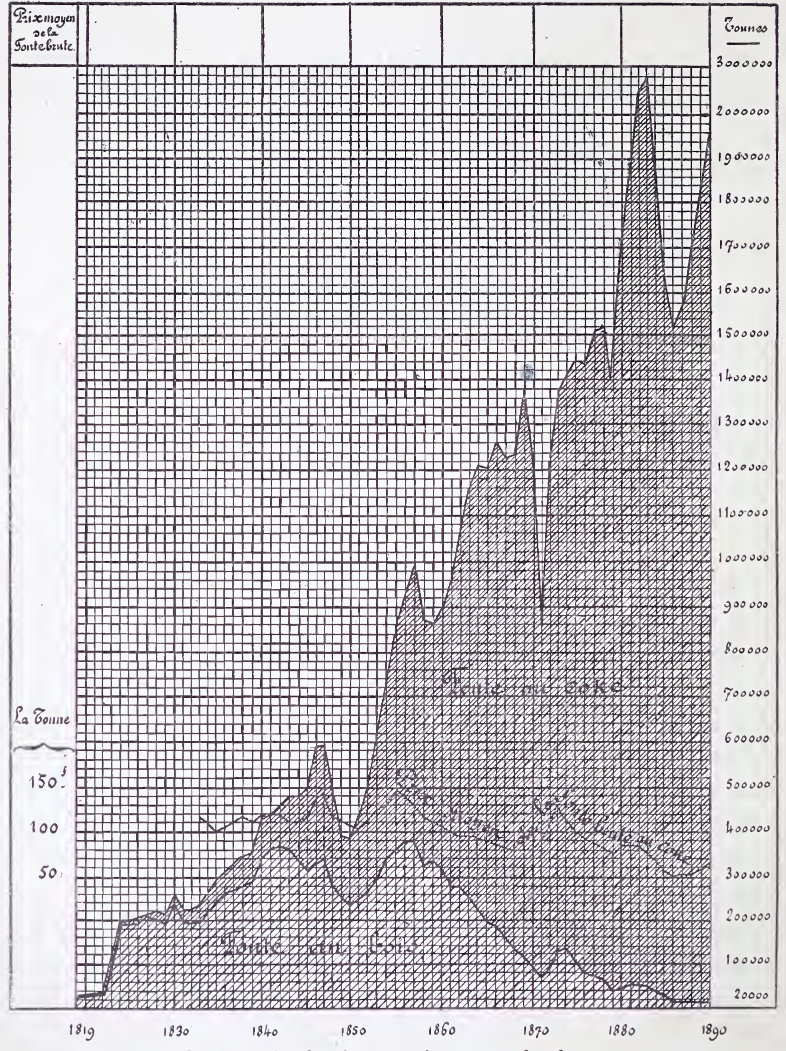


Fig. 1. — Production et prix moyen des fontes.

en grand dans les usines métallurgiques tandis que les procédés

Thomas Gilchrist commençaient à paraître. Depuis, la fabrication de l'acier a réalisé de nouveaux progrès avec les procédés Martin Siemens à sole basique qui se répandent de plus en plus.

Grâce à la perfection des procédés que nous venons de citer, l'emploi de l'acier se généralise et, dans bien des cas, l'acier tend même à remplacer le fer.

Nous donnons ici trois diagrammes empruntés à la statistique

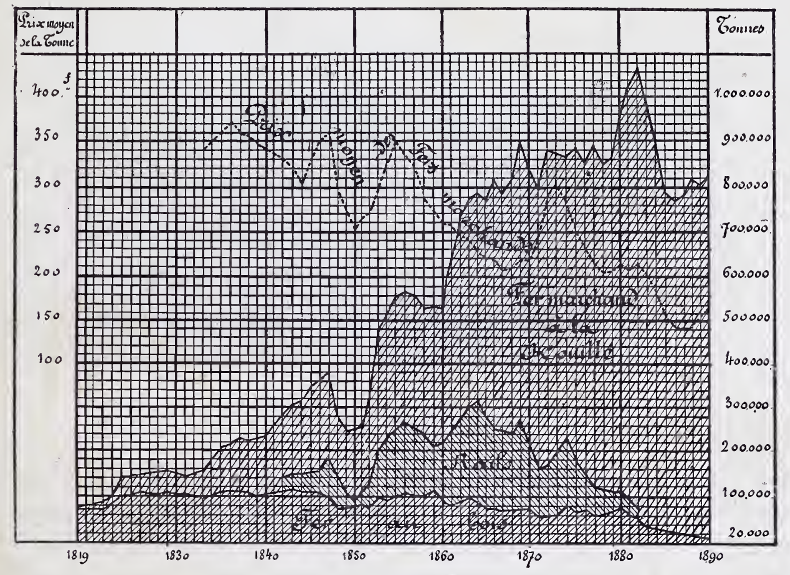


Fig. 2. — Production et prix moyen des fers.

de l'industrie minérale, publiée par le ministère des travaux publics, qui représentent la production des fontes, du fer et de l'acier en France depuis l'année 1819. Ces diagrammes donnent aussi les prix moyens de la fonte brute au coke, des fers marchands à la houille et des rails d'acier ; parmi les variétés d'acier ouvré, c'est seulement pour les rails que la statistique permet de spécifier le prix moyen particulier, sans grouper des produits de valeur fort différente. Ils montrent les fluctuations de la production

de la fonte et du fer et font ressortir la marche ascendante de celle de l'acier. La comparaison des quantités de fer et d'acier produites en 1877 et en 1890 est éloquente : tandis que, en 1877, sur l'ensemble de ces deux produits, le fer donnait 77 pour 100 et l'acier 23 pour 100, en 1890 le fer s'abaisse à 59 pour 100 et l'acier s'élève à 41 pour 100.

On peut conclure de ces faits que le résultat déjà obtenu dans divers pays (Allemagne, Angleterre, États-Unis d'Amérique) ne

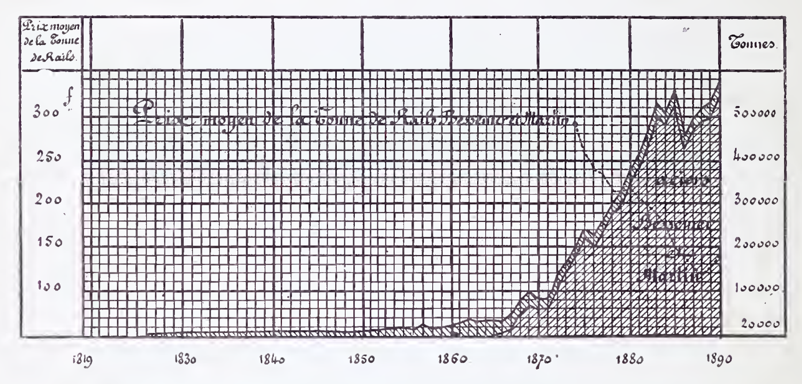


Fig. 3. — Production des aciers et prix moyen des rails.

tardera pas à se manifester aussi en France, à savoir que la production de l'acier atteindra et dépassera celle du fer, son emploi se répandant de plus en plus, à mesure qu'on l'obtient plus parfait, grâce aux propriétés exceptionnelles dont il jouit.

Complétons ces renseignements en disant que la production dans le monde entier, pendant l'année 1889, a été la suivante :

Fonte.	24,947,000 tonnes.
Fer.	8,729,000 —
Acier.	9,850,000 —

Les formes sous lesquelles on emploie la fonte, le fer et l'acier dans les constructions métalliques sont assez variées :

La fonte. — Chaque pièce en fonte exige un moulage spé-

cial. On rencontre la fonte sous forme de poutres, de colonnes, de pièces assemblées et formant des arcs et des tympans de ponts en arc, de garde-corps, de consoles, de corniches, etc.

La fonte se prête très bien par ses moulages aux effets décoratifs des constructions.

Le fer. — Le fer est employé sous les sections les plus usuelles suivantes (fig. 4), obtenues par l'étirage sous les marteaux et les laminoirs :

Carrés ; ronds ; plats ; larges plats ; fers zorés (*a, b*) ; fers à

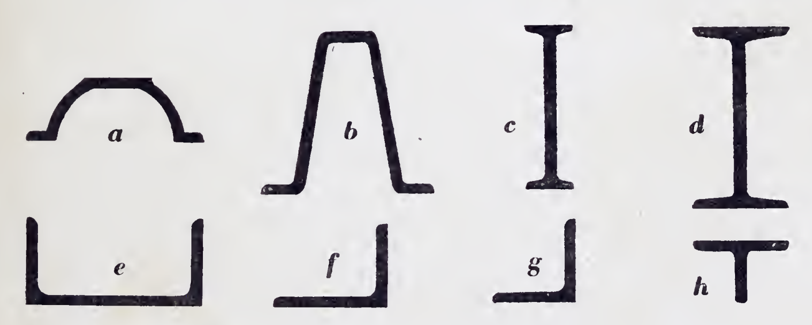


Fig. 4. — Sections usuelles des fers.

T simple (*h*) ; fers à T double, ailes ordinaires (*c*) ; fers à T double, ailes larges (*d*) ; fers en U (*e*) ; cornières à ailes égales (*g*) ; cornières à ailes inégales (*f*).

Dans certains cas la tôle est employée sous forme de tubes à sections courbes.

L'acier. — L'acier s'emploie, soit comme la fonte : il est alors coulé dans un moule, forgé et ajusté, exemple : les rouleaux de dilatation des ponts ; soit comme le fer, et, comme lui, sous toutes les formes indiquées ci-dessus.

Nous rappelons que la composition des fontes, fers et aciers peut être très variable et qu'à chaque composition correspondent des propriétés différentes du produit. L'acier, par exemple, passe de la variété extra-douce à la variété extra-dure, c'est-à-dire est très malléable ou très cassant.

Il y a donc un grand intérêt pour les ingénieurs à connaître exactement les qualités du métal qu'ils emploient. Cette connaissance s'obtient au moyen des essais du métal.

Les propriétés physiques et mécaniques que l'on cherche à déterminer sont : la ténacité, c'est-à-dire la limite d'élasticité, la résistance à la rupture et l'allongement, la malléabilité, la ductilité, la résistance au choc, l'écrouissage, la fragilité, la trempe, la soudabilité.

Les cahiers des charges que les administrations dressent quand elles ont un ouvrage important à construire indiquent d'une façon précise les conditions que doit remplir le métal et les essais à faire. Le cadre de notre ouvrage ne nous permet pas d'entrer dans le détail des conditions imposées, des essais et des moyens employés pour les réaliser. Nous nous bornerons à dire que le Gouvernement français a institué récemment une commission pour l'étude des méthodes d'essai des matériaux de construction, et qu'une section est chargée spécialement des métaux.

Nous allons maintenant entrer dans le sujet même de notre ouvrage, la description des constructions métalliques. Nous le diviserons en deux parties dont la première comprendra les ponts, ce sera la plus importante, et la deuxième traitera des charpentes qui forment la partie principale des autres constructions métalliques diverses.

PREMIÈRE PARTIE

LES PONTS EN MÉTAL

Classification des ponts. — Nous classerons les ponts en deux catégories :

I. — Les ponts en fonte ;

II. — Les ponts en tôle de fer ou d'acier.

Nous distinguerons dans chacune de ces catégories, en adoptant les appellations de M. de Leber :

1° Les constructions *indépendantes,* c'est-à-dire celles qui n'exercent sur les piles que des réactions verticales et dans lesquelles les poutres reposent librement sur les appuis ; nous classerons dans cette catégorie les poutres en porte à faux et contrepoids, les poutres consoles ;

2° Les constructions *dépendantes,* c'est-à-dire celles qui utilisent le poids des piles pour résister à la flexion en exerçant aussi sur elles des réactions horizontales, et parmi lesquelles on peut citer les ponts en arc et les ponts suspendus.

Nous trouvons les dénominations de constructions indépendantes et de constructions dépendantes préférables à celles qui sont souvent adoptées de ponts à poutres droites et de ponts en arc. Elles sont plus générales. L'appellation de ponts à poutres droites ne donne pas exactement l'idée de ce qu'elle comprend ; elle évoque *à priori* l'idée d'une poutre à semelles rectilignes tandis qu'on lui fait comprendre aussi des poutres à semelles curvilignes, telles que celles des ponts de Saltash et de Hambourg.

Dans chacune de ces catégories nous examinerons :

Les ouvrages supportant des voies de fer ;

Les ouvrages supportant les voies de terre.

Enfin nous passerons en revue dans chaque espèce d'abord les ponts en France, puis les ponts en Europe, enfin les ponts en Amérique.

Viaducs. — Nous ne mettrons pas à part les ouvrages appelés *viaducs*, car la distinction entre le viaduc et le pont ne nous semble pas bien précise dans l'esprit des ingénieurs. Les uns appellent en effet viaduc ce que d'autres appellent pont et *vice versa*. Cette distinction ne repose d'ailleurs sur aucun fait scientifique, et il nous a paru préférable de classer chacun des viaducs dont nous aurons à nous occuper parmi les ponts présentant des dispositions semblables. Disons toutefois que, d'après Morandière, on désigne sous le nom générique de viaducs les ponts très élevés qui servent à franchir les grandes ou les profondes vallées et aussi les ouvrages composés d'une suite de travées qui, sans franchir ni vallée ni cours d'eau, supportent une route ou bien un chemin de fer même à une faible hauteur au-dessus du sol comme par exemple dans la traversée des villes.

CHAPITRE PREMIER

Considérations générales communes à tous les ponts en métal.

I. — DÉFINITIONS DES PRINCIPALES PARTIES DES PONTS[1]

Un pont est composé dans ses parties essentielles : de maîtresses poutres, de pièces de pont et de longerons, d'un tablier de la voie, d'entretoisements et de contreventements.

1. Nous avons emprunté certaines des définitions qui suivent à M. de Leber. (Congrès des chemins de fer de Paris.)

Les maîtresses poutres ou *poutres principales* sont les poutres du pont qui reportent leur poids ainsi que toutes les charges permanentes et mobiles sur les piles. Dans les ponts en arc on les appelle encore *fermes.*

En France on appelle *poutres transversales* ou *pièces de pont* les poutres qui reportent leur propre poids et toutes les autres charges permanentes et mobiles sur les maîtresses poutres, dans les cas où ces dernières ne les reçoivent pas déjà directement. Elles relient les maîtresses poutres et reçoivent les charges intermédiaires. Quand les poutres transversales ne supportent que leur poids propre, le poids relativement faible de quelques autres pièces de construction et, dans certains cas, une faible partie des charges mobiles, on les nomme *entretoises* ou *entretoisements ;* ces pièces sont plutôt destinées à relier entre elles les maîtresses poutres qu'à porter des charges. Dans les grands ponts elles sont ou supérieures ou inférieures.

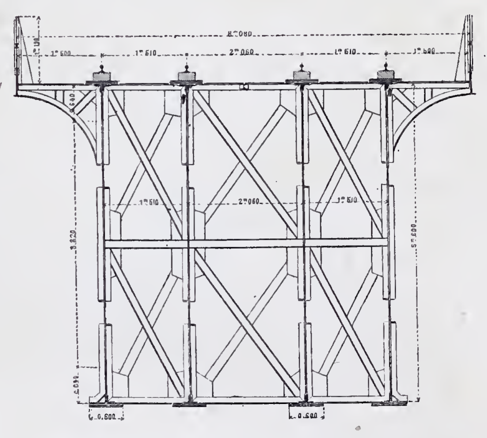


Fig. 5. — Viaduc du Val-Saint-Léger, à Saint-Germain-en-Laye, avec voie en dessus. (Coupe transversale.)

Les *longerons* sont les poutrelles parallèles aux maîtresses poutres qui ont à supporter leur propre poids ainsi que toutes les charges permanentes et mobiles ne reposant pas directement [sur les maîtresses-poutres et les poutres transversales et qui les transmettent à ces dernières sur lesquelles ils s'appuient.

On nomme *entrecroisements* les entretoisements qui, vu leur hauteur et leur rigidité propre (croix de Saint-André) sont aptes à s'opposer à toute déformation du profil de section du pont.

Le *tablier de la voie* sera pour nous l'ensemble de toutes les pièces constituant la voie proprement dite et du plancher en ce qui concerne les ponts de chemin de fer et, en ce qui concerne les ponts-routes, l'ensemble des pièces destinées à constituer la chaussée et les trottoirs et à les soutenir sur le canevas formé par les maîtresses poutres, poutres transversales et longerons.

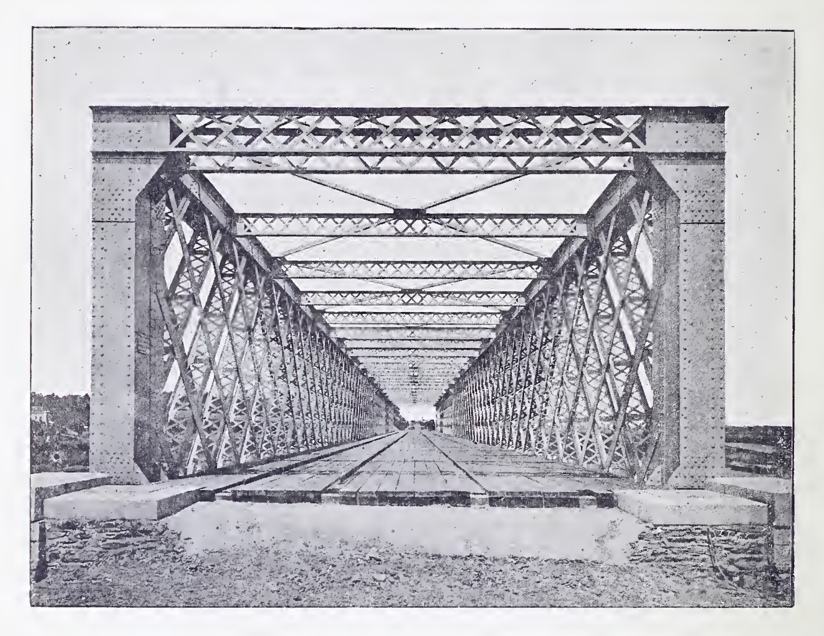


Fig. 6. — Viaduc sur la Maine, à Angers, avec voie en dessous. (Vue intérieure du tablier.)

Le *contreventement* est la partie du pont qui, de concert avec les entretoises, s'oppose à toute flexion horizontale. Il est constitué par des croisillons spéciaux, disposés en général horizontalement (ou à peu près) entre les maîtresses poutres et entre les longerons quand ceux-ci ont une grande portée, en guise de diagonales.

On appelle ponts *à voie en dessus* ceux dans lesquels le niveau de la voie se trouve situé au-dessus des bandes supérieures des

maîtresses poutres ou tellement peu en contrebas de celles-ci que l'on n'est pas obligé d'adopter de ce chef le grand écartement minimum des maîtresses poutres que réclamerait la largeur maximum du gabarit de chargement prescrit pour chemins de fer par l'article 11 du règlement du 23 août 1891 ou bien du profil des plus larges voitures de roulage. Tels sont les viaducs de la Bouble, du Val-Saint-Léger (fig. 5), de la rue Legendre, à Paris.

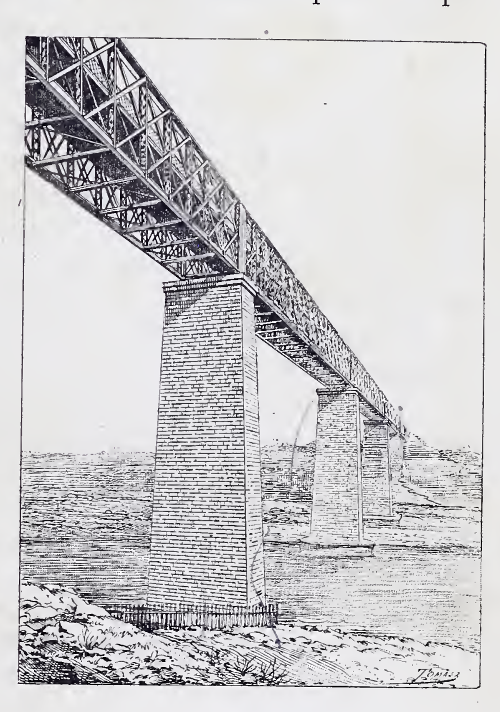


Fig. 7. — Viaduc de la Penzé, à voie intermédiaire.

On appelle ponts *à voie en dessous* (fig. 6) ceux dans lesquels le tablier de la voie se trouve entre les maîtresses poutres et tellement en contre-bas des bandes supérieures que l'on est obligé de ce chef de donner le grand écartement dont il est question ci-dessus: Ponts du Manoir, de la Souleuvre, de Cadillac, viaduc sur la Maine.

On nomme en particulier ponts *à voie intermédiaire* les ponts à voie en dessous pour lesquels le niveau de la voie, placé à une certaine hauteur au-dessus des semelles inférieures des maîtresses poutres (fig. 7), se trouve commandé bien plutôt par les données de hauteurs ou la nécessité de bien entrecroiser les maîtresses poutres que par des considérations ayant trait à la résistance à la flexion. Tels sont les ponts de Garabit, de la Penzé.

Nous appellerons dans un ouvrage *hauteur disponible*, la hauteur comprise entre le niveau du rail ou de la chaussée et le contour inférieur des parties les plus basses de l'ouvrage. C'est cette dimension qui, d'ordinaire, détermine le choix à faire entre les types de ponts à adopter.

Différentes espèces de poutres. — Elles se présentent sous les aspects et les formes les plus variés. On peut les classer comme suit d'après leur composition :

1° *Poutres à âme pleine.* — Elles sont dites *laminées*, quand elles sont d'une seule pièce, telles sont les poutres en fer double T, en fer en U, etc. On les appelle *poutres en tôle* quand elles sont formées d'âmes pleines en tôle, sur lesquelles se trouvent rivées des cornières, fers en U ou à T, semelles, etc. (fig. 73).

Les dimensions des poutres en tôle s'indiquent habituellement au moyen de cotes en millimètres disposées comme dans la figure 8 : le dénominateur étant l'épaisseur de la tôle.

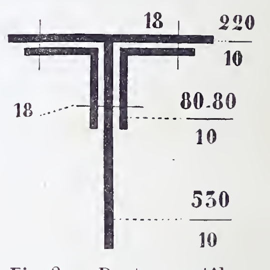


Fig. 8. — Poutres en tôle. (Indication des dimensions.)

2° *Poutres à croisillons.* — Une telle poutre est composée normalement de deux *tables* ou *semelles* ou *bandes* et d'une *âme* constituée par un ensemble de pièces qui les relie. Chaque semelle peut être formée de la superposition de plusieurs tôles appelées *plates-bandes.*

Dans ce genre de poutres on rencontre : les poutres à *triangles*, c'est-à-dire celles formées de triangles juxtaposés et dans lesquelles les sommets sont regardés comme des articulations et appelés *nœuds* (fig. 68). L'ensemble des croisillons ou barres constitue ce qu'on appelle une *triangulation.* La poutre est à simple, double, triple triangulation suivant qu'elle est construite avec un, deux, trois systèmes de croisillons.

Quand le nombre des croisillons augmente au delà d'une certaine limite, les poutres sont dites *à petites mailles ;* l'âme croisillonnée se rapproche alors de l'âme pleine.

On nomme en particulier *poutres en treillis* les poutres combinées à bandes droites parallèles qui résultent de deux, quatre, six poutres à triangles constituées avec diagonales deux à deux symétriques, avec ou sans montants de renfort.

Dans les poutres à croisillons on appelle :

Montants verticaux ou *montants* les croisillons verticaux des treillis qui sont par conséquent perpendiculaires à la bande ou aux bandes rectilignes de la poutre ;

Diagonales les croisillons qui sont inclinés sur la bande rectiligne de la poutre ;

Montants de renfort ou *renforts* les montants qui dans les poutres en treillis ne sont pas des croisillons effectifs de la poutre, ne fonctionnent que comme attaches se reliant aux bandes et raidissant la paroi de l'âme tout entière, et servent à l'attache des parties transversales.

Les ponts en arc sont formés d'une ou plusieurs *arches*. L'arche est la partie comprise entre deux piles ou entre une pile et une culée; les *naissances* ou les *retombées* des arcs sont les parties par lesquelles ils s'appuient sur les piles ou culées ; la *clef* est le sommet de l'arc. Chaque arche est formée d'un certain nombre de *fermes* ou poutres constituées d'une façon générale : 1° d'*arcs* qui supportent le poids de tout l'ouvrage et celui des charges roulantes et les reportent sur les piles et culées; 2° de *tympans* qui servent à reporter sur les arcs le poids du tablier et des charges roulantes ; 3° enfin du *tablier* de la voie.

Les fermes doivent être reliées les unes aux autres pour que leur stabilité dans le sens transversal soit assurée ; à cet effet les arcs sont réunis entre eux par des entretoises et des contreventements ; il en est de même des tympans. Les entretoises qui relient la partie supérieure des tympans des diverses formes ou les longerons qui les couronnent, quand il y en a, servent en outre à supporter la voie.

II. — CALCUL DES PONTS. — CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT. ÉPREUVES DES PONTS.

A ce point de vue nous sommes aujourd'hui loin de l'époque, vers 1850, où l'on était obligé, pour déterminer les dimensions à donner aux pièces des ponts, d'avoir recours à des procédés empiriques et, dans certains cas, de construire des modèles à petite échelle et de les soumettre à la flexion.

Toutes les dimensions des pièces des constructions métalliques sont étudiées avec le plus grand soin avant leur exécution et calculées d'après des méthodes théoriques.

Toutefois les calculs de résistance sont basés sur des hypothèses et ne peuvent nous fournir qu'un aperçu approché des lois suivant lesquelles s'effectue la répartition des forces intérieures dans les constructions et suivant lesquelles il faudrait réellement calculer les diverses pièces. Dans la plupart des cas, la véritable distribution des forces intérieures nous est même fort peu connue, mais les calculs de résistance nous permettent de fixer avec une certaine approximation une limite supérieure des efforts intérieurs considérés, dans les circonstances les plus défavorables, ce qui suffit en pratique[1].

Le calcul d'un ouvrage métallique consiste : 1° à déterminer les efforts de diverses natures que supportent les différentes pièces de l'ouvrage en chacun de leurs points sous le poids de l'ouvrage, dit charge permanente, et sous l'action, tant des efforts accessoires, que des charges roulantes ou surcharges ; 2° ces efforts étant connus, à calculer la dimension des pièces qui doivent leur résister, en travaillant dans les conditions indiquées par les règlements. Les efforts, exprimés en kilogrammes, sont les éléments

1. M. de Leber. (Congrès des chemins de fer de Paris.)

nécessaires pour la résolution des formules arithmétiques qui donnent ces dimensions.

En France, l'Administration laisse aux ingénieurs une entière liberté en ce qui concerne le choix des méthodes à employer pour calculer les efforts; la seule obligation qu'elle leur impose est de déterminer avec une exactitude suffisante la limite des efforts supportés par chacune des pièces qui composent l'ouvrage dans les conditions définies par le règlement. Ainsi, on pourra faire usage, pour le calcul des moments fléchissants et des efforts tranchants, de surcharges virtuelles uniformément réparties, sauf à justifier que ces surcharges produisent des efforts au moins égaux à ceux qui seraient déterminés en chaque point par le passage du train adopté comme type.

Quelle que soit la méthode employée, les résultats des calculs doivent être groupés dans des épures de manière à faire ressortir la loi des variations des efforts dans les différentes pièces de l'ouvrage et à faciliter les vérifications.

Deux méthodes principales sont actuellement en usage pour le calcul des ponts et des charpentes, méthodes qui se partagent la faveur des constructeurs et des ingénieurs.

L'une, la méthode analytique ou méthode des formules, était d'une application assez facile tant qu'on a pu admettre l'hypothèse de surcharges uniformément réparties; mais le Règlement du 29 août 1891, dont nous parlerons plus loin, exigeant que l'on détermine en chaque point du tablier l'effort maximum produit par le passage successif des essieux du train type, les formules qui peuvent donner ces efforts se compliquent considérablement, surtout s'il s'agit d'un pont à plusieurs travées.

L'autre, la méthode graphique, dite *statique graphique,* basée sur la géométrie, très en faveur en Allemagne, aux États-Unis et qui commence à trouver beaucoup d'adhérents en France, permet, par de simples constructions géométriques, de déterminer rapidement les éléments nécessaires pour la résolution des formules arithmétiques donnant les dimensions des pièces.

L'une et l'autre ont leurs avantages et leurs inconvénients.

Sans entrer dans le détail de chacune d'elles et seulement afin de fixer les idées sur l'importance des épures et des calculs qui sont nécessaires pour déterminer les moments fléchissants, efforts tranchants, etc., des diverses pièces sous la charge permanente et la charge mobile, sous l'action du vent et par le fait du lançage, et pour en déduire ensuite les dimensions à donner à ces pièces, nous dirons que le dossier relatif au pont du Manoir décrit page 77 comporte douze épures et une note de calculs de cent trois pages, format écolier.

On comprend dès lors que le cadre de notre ouvrage ne nous permette pas de donner un exemple d'un semblable travail.

De plus les ponts, avant d'être livrés à la circulation, sont soumis à une série d'épreuves.

En France et dans la plupart des autres pays, des règlements, émanant de l'autorité gouvernementale, déterminent les conditions auxquelles doivent satisfaire les ponts métalliques. Il s'agit là, en effet, d'une question de sécurité publique.

Chez nous, un règlement ministériel daté du 29 août 1891 a déterminé les conditions à adopter pour le calcul des divers organes des ponts et les épreuves auxquelles ils doivent être soumis. Nous n'en pouvons donner ici qu'un très rapide aperçu :

Le chapitre 1er a trait aux ponts supportant des voies de fer ; ces ponts doivent être en état de livrer passage aux trains autorisés à circuler sur le réseau auquel ils appartiennent et, en outre, au train type défini par le règlement.

L'article 2 fixe les limites que ne doit pas dépasser le travail du métal par millimètre carré de section nette, c'est-à-dire déduction faite des trous de rivets ou de boulons.

Dans la position la plus défavorable des trains désignés plus haut, ces limites sont, d'une façon générale, les suivantes :

Pour la fonte supportant un effort d'extension directe. .	$1^{kg},50$
Pour la fonte travaillant à l'extension dans des pièces soumises à des efforts tendant à les faire fléchir . . .	$2^{kg},50$
Pour la fonte supportant un effort de compression. . . .	$6^{kg},00$

Pour le fer et l'acier travaillant à l'extension, à la compression ou à la flexion, les limites, exprimées en kilogrammes par millimètre carré de section, sont fixées aux valeurs suivantes :

Pour le fer . . . . 6^{kg},50
Pour l'acier. . . . . 8^{kg},50

Toutefois ces limites doivent être abaissées respectivement :

A 5^{kg},50 pour le fer et à 7^{kg},50 pour l'acier dans les pièces de pont, longerons et entretoises sous rail;

A 4 kilogrammes pour le fer et à 6 kilogrammes pour l'acier, pour les barres de treillis et autres pièces exposées à des efforts alternatifs d'extension et de compression ;

Par contre les limites sont relevées pour les ouvrages métalliques d'une ouverture supérieure à 30 mètres, sans jamais dépasser :

Pour le fer. . . . . 8^{kg},50
Pour l'acier. . . . . 11^{kg},50

Le même article indique les limites à appliquer aux efforts de cisaillement et de glissement longitudinal, et fixe dans quelles conditions seront calculés le nombre et les dimensions des rivets.

Les coefficients de travail du métal, fixés ci-dessus pour le fer et l'acier, correspondent aux qualités définies dans l'article 3 par les conditions suivantes :

DÉSIGNATION.	ALLONGEMENT minimum DE RUPTURE mesuré sur des éprouvettes de 200 millimètres de longueur.	RÉSISTANCE minimum A LA TRACTION par millimètre carré mesurée sur des éprouvettes de 200 millimètres de longueur.
Fer laminé. — Fer profilé et plat (dans le sens du laminage)	8 pour 100.	32 kilogrammes.
Fer laminé. — Tôle — dans le sens du laminage.	8 —	32 —
Fer laminé. — Tôle — dans le sens perpendiculaire au laminage. . .	3,5 —	28 —
Acier laminé.	22 —	42 —
Rivets en fer.	16 —	36 —
Rivets en acier.	28 —	38 —

Il est dit dans le même article que, lorsqu'on emploiera l'acier, les trous des rivets seront forés ou alésés après le perçage sur une épaisseur d'au moins un millimètre et les bords des pièces coupées à la cisaille seront affranchis sur la même épaisseur.

L'article 4 définit le train-type auquel les travées métalliques doivent être en état de livrer passage, sur chaque voie.

Ce train-type se compose de deux machines à quatre essieux, chargés chacun de 14 tonnes, de leurs tenders du poids total de 24 tonnes et de wagons de 16 tonnes pour les chemins de fer à voie normale.

Pour les chemins de fer à voie étroite (art. 13), le poids par essieu des machines est réduit à 10 tonnes $\times$ L, L étant la largeur de la voie exprimée en mètres, le poids des tenders étant de 16 tonnes.

L'ensemble du train doit être supposé occuper successivement différentes positions le long de la portée, ces positions étant choisies de manière à réaliser en chaque point les plus grands efforts tranchants et fléchissants que le passage du train-type puisse déterminer.

L'article 5 traite la question de l'action du vent tant sur le pont et les piles métalliques que sur un train supposé placé sur ce pont et indique dans quelles conditions on doit tenir compte de cette action.

L'article 9 détermine les épreuves que doivent subir les ponts, suivant qu'ils sont à travées indépendantes ou à travées solidaires, d'une part et, d'autre part, qu'ils sont à une seule voie ou à voies indépendantes ou qu'ils sont à voies solidaires.

Chaque travée métallique est soumise à deux natures d'épreuves, l'une par poids mort, l'autre par poids roulant successivement aux vitesses de 20 puis de 40 kilomètres à l'heure pour la voie normale et de 35 kilomètres pour la voie étroite, au moyen de trains composés d'éléments se rapprochant de ceux du train-type et, en tous cas, au moins égaux aux plus forts poids des éléments similaires appelés à circuler sur la voie considérée.

On doit mesurer, au moment des épreuves, la flèche maximum au milieu de chaque travée, sous l'influence d'abord de la charge immobile, puis de la surcharge en mouvement. (Voir p. 83.)

Immédiatement après les épreuves de chaque pont, la partie métallique doit être visitée dans tous ses détails pour constater si des déformations se sont produites.

Les articles 11 et 12 fixent les distances auxquelles doivent se trouver les pièces les plus rapprochées de la voie par rapport au rail le plus voisin.

Le chapitre II a trait aux ponts supportant des voies de terre.

D'après l'article 15 ces ponts doivent être en état de livrer passage à toute voiture dont la circulation est autorisée par le règlement du 10 août 1852 sur la police du roulage et des messageries, c'est-à-dire aux voitures attelées au maximum de cinq chevaux si elles sont à deux roues et de huit chevaux si elles sont à quatre roues.

Les dimensions des différentes pièces des ponts doivent être calculées dans les conditions fixées à l'article 2, sauf la substitution au train-type des surcharges définies par l'article 17.

Cet article prescrit de s'assurer que le travail du métal par millimètre carré, dans chaque pièce, ne dépasse pas les limites fixées à l'article 2 :

1° Sous l'action d'une surcharge uniformément répartie de 400 kilogrammes par mètre carré sur toute la largeur de l'ouvrage, y compris les trottoirs ;

2° Sous le passage de tombereaux et de chariots, attelés, de poids et de dimensions déterminés.

D'après l'article 19, chaque travée métallique est soumise à deux natures d'épreuves : l'une par poids mort, l'autre par poids roulant. Le même article définit la composition des surcharges d'épreuve.

Enfin le chapitre III concerne les ponts-canaux.

Ces ponts-canaux doivent être en état de recevoir la charge d'eau correspondant au mouillage normal, augmenté de trente centimètres.

Les dimensions des différentes pièces des ponts-canaux doivent être calculées de manière à ce que le travail du métal par millimètre carré de section nette, déduction faite des trous de rivets, ne dépasse nulle part $8^{kg},50$ pour le fer et $11^{kg},50$ pour l'acier.

L'épreuve des ponts-canaux consiste dans la mesure des flèches avant et après le remplissage au maximum de hauteur fixé plus haut.

Disons que la plupart des ponts construits en France jusqu'à l'année 1891 ne satisfont pas complètement aux conditions du règlement du 29 août 1891. Ils ont été calculés en partant de charges mobiles inférieures à celles qui résultent effectivement des poids des machines aujourd'hui admises à circuler sur nos réseaux. Aussi ces ponts sont-ils actuellement l'objet d'une revision générale.

Cette revision ainsi que la construction des nouveaux ponts sont l'objet de toute la sollicitude des ingénieurs, des constructeurs et de l'Administration supérieure, et l'on peut affirmer que les ouvrages que l'on construit en France présentent toutes les garanties de sécurité possible.

III. — MÉTAL A EMPLOYER.

Fonte. — Dans les ouvrages métalliques, il est à désirer que les pièces en fonte ne travaillent qu'à la compression ; aussi l'emploi de ce métal, lorsqu'il est exposé à travailler à l'extension, n'est-il admis que dans des cas exceptionnels, et, par suite, n'emploie-t-on plus les poutres droites en fonte. Il existe cependant encore en France un certain nombre de ponts en fonte, à poutres droites et de formes des plus variables; mais ils sont de faible ouverture, de 2 à 10 mètres. Ces ponts se sont en général bien comportés jusqu'ici et nous en avons vu remplacer qui étaient dans

un parfait état de conservation, bien qu'en service depuis près de quarante ans. Si on les reconstruit c'est parce que leurs poutres, sous les charges mobiles qui sont allées continuellement en croissant, supportent des efforts dépassant le coefficient de sécurité admis.

Pour les ponts en arc, l'emploi de la fonte est rationnel dans la constitution des arcs et des tympans, pourvu que le surbaissement ne soit pas trop prononcé afin que le métal ne travaille qu'à la compression dans ces arcs. Mais il est à recommander d'employer le fer pour les entretoises et les contreventements des arcs et des tympans ainsi que pour les pièces de pont.

Les ponts en fonte n'exigent qu'un entretien insignifiant, ne demandent aucune peinture et sont très bien à leur place dans les campagnes où l'on ne trouve pas les ouvriers spéciaux que nécessitent les constructions en tôle.

Ajoutons que la fonte se prête merveilleusement bien à la décoration et permet de donner aux ouvrages un aspect monumental que l'on ne peut obtenir avec le fer.

Quoi qu'il en soit, on tend aujourd'hui à remplacer la fonte par le fer ou l'acier, même dans les ponts en arc.

Fer et acier. — C'est vers 1850 que l'on a commencé à construire des ponts en tôle de fer et, pendant quelque temps, le fer a constitué l'élément principal des constructions indépendantes.

Mais dès que l'industrie a pu, par des procédés nouveaux, produire de l'acier présentant les conditions voulues et à des prix relativement modérés, on a essayé son emploi dans la construction des ponts. Ces essais, peu concluants d'abord, ont même fait naître certaines appréhensions. Mais, en présence des résultats obtenus dans les constructions exécutées avec soin, avec une qualité d'acier judicieusement choisie, c'est-à-dire : acier plus doux pour les pièces tendues, acier plus dur pour les pièces comprimées, la confiance est revenue et l'emploi de ce métal s'est rapidement développé. Aujourd'hui l'acier est employé couramment et tend même à détrôner le fer. C'est ainsi que la compagnie de Paris-Lyon-Méditer-

ranée, les Chemins de fer de l'État français et divers pays étrangers, notamment l'Autriche, ont adopté l'acier pour la construction des ponts de toute portée. Cependant certains bons esprits sont restés fidèles au fer, surtout pour la construction des ouvrages de faible ouverture. Là il n'existe pas, suivant eux, de motifs suffisants pour lui substituer l'acier.

Il faut évidemment faire entrer en balance les prix auxquels reviendraient le kilogramme de fer et le kilogramme d'acier mis en place. Mais, en supposant que le pont en fer, travaillant à $6^{kg},500$ par millimètre carré, revienne au même prix que le pont en acier travaillant à $8^{kg},500$, on ne voit pas, disent-ils, pourquoi le pont en acier s'imposerait dans le cas d'un ouvrage de portée moyenne devant supporter des charges mobiles égales ou supérieures à son propre poids. Le pont en fer semble préférable puisqu'il présente un poids mort plus considérable, des flèches moindres et subit des vibrations moins sensibles au passage des charges roulantes. D'autre part, ajoutent-ils, comme il y a aciers et aciers, ce métal exige une surveillance et des essais minutieux dans les usines, tant pour sa fabrication que pour la bonne exécution des pièces, un soin particulier pour tout ce qui touche la rivure, en un mot de nombreuses sujétions qui n'existent pas avec le fer ou du moins présentent une importance moindre et qui compensent l'économie qui peut résulter de l'emploi d'un métal plus résistant. Il y a aussi une limite inférieure que l'on ne peut dépasser dans les dimensions pratiques, par exemple pour l'épaisseur des pièces de tôle, bien qu'au point de vue de la résistance on puisse descendre à des dimensions moindres.

Mais, si le prix du kilogramme d'acier mis en place n'est pas plus élevé que celui du kilogramme de fer, on ne voit pas de quel côté ira la préférence, étant admis que l'on peut se procurer de l'acier de qualité parfaite. La question est très délicate et nous semble devoir être résolue, dans l'état actuel des choses, dans le sens de l'emploi du fer tant qu'une raison de prix de revient n'intervient pas.

Il n'en est plus de même dès que les ouvrages ont des ouvertures importantes. L'emploi de l'acier y est rationnel s'il n'entraîne pas un surcroît de dépense comparativement à l'emploi du fer. On peut dire que la convenance de l'emploi de l'acier est en raison de l'ouverture des ouvrages.

Aussi, dans les portées exceptionnelles, l'acier s'impose-t-il absolument soit au point de vue de l'économie, soit au point de vue de la possibilité même de l'exécution. En effet le rôle que joue le poids mort dans un grand ouvrage peut être tellement considérable qu'une diminution de ce poids peut amener une économie des plus notables; on pourra aussi avoir une réduction dans la dépense de la mise en place, l'ouvrage étant plus léger. D'autre part, il faut remarquer que la solution de la superstructure des ouvrages tels que le pont du Forth est avant tout une question de métallurgie. Si nous n'avions à notre disposition que du fer travaillant seulement à 6 kilogrammes par millimètre carré, des travées de 400 à 500 mètres seraient irréalisables; le poids du métal serait tel que la poutre s'effondrerait d'elle-même comme un ouvrage en plomb. Si, au contraire, on disposait d'un métal pouvant travailler à 30 kilogrammes, par exemple, le poids nécessaire serait à peine la moitié de celui de l'ouvrage construit avec l'acier employé aujourd'hui dans les travaux publics.

Nous devons rendre ici un hommage à nos métallurgistes; c'est grâce aux progrès qu'ils ont réalisés dans l'industrie de l'acier que l'on peut aborder des travées d'une longueur inusitée jusqu'à ces dernières années.

Pour terminer cet aperçu sur la question de l'emploi de l'acier dans les constructions métalliques, nous ne croyons pas pouvoir mieux faire que de reproduire ci-après les conclusions ratifiées par le Congrès des Chemins de fer tenu à Milan en 1887 :

« 1° Il est incontestable que l'acier doux (flüsseisen), convenablement choisi d'un type voisin de celui qu'on a mis en œuvre dans une série de grands ponts récemment construits ou encore

en construction, constitue un métal notablement supérieur au fer, au point de vue de la résistance ;

« 2° Il est non moins incontestable que l'emploi de l'acier doux se recommande et s'impose même dans l'établissement des ponts pour lesquels il y a intérêt à recourir à des ouvertures exceptionnelles ;

« 3° Il est incontestable encore que la métallurgie est aujourd'hui capable de produire, à des prix différant peu de ceux du fer de première qualité, les aciers doux qui conviennent le mieux à la construction des ponts ;

« 4° L'emploi de l'acier exige des précautions spéciales au point de vue de la fabrication de la matière et de la construction proprement dite.

« Des précautions spéciales se recommandent aussi lorsqu'il s'agit de ponts établis dans des climats exceptionnellement froids. »

IV. — TYPE DE PONT A ADOPTER.

Les conditions locales commandent souvent le type du pont à adopter.

Si la hauteur dont on dispose est suffisante, sans que l'on ait toutefois des piles trop élevées, on peut d'une façon générale avoir recours soit à la forme en arc, soit à la construction indépendante, c'est-à-dire dans le cas le plus ordinaire, au pont à poutres droites.

Pour le même ouvrage le poids de la construction en arc serait un peu moindre parce que l'on utilise dans cette disposition les réactions des piles et des culées pour supporter une partie des efforts ; ce qui permet de diminuer le poids du métal.

On devrait préférer par suite les arcs aux poutres droites ; l'aspect d'un pont en arc semble d'ailleurs plus satisfaisant que celui d'un pont à poutres droites. Cependant l'emploi du type de pont à poutres droites est beaucoup plus fréquent.

Quand on s'est arrêté à ce dernier type, il reste à déterminer le genre de construction des travées droites que l'on adoptera.

Le niveau de la chaussée ou des rails de la voie étant donné, et la hauteur libre à conserver au-dessus du niveau du sol ou de l'eau étant fixée, on en déduit ce que nous avons appelé la hauteur disponible ; c'est l'espace compris entre le niveau de la voie et le dessous des poutres. Si cet espace est suffisant pour comprendre toute la superstructure du pont, avec des poutres de hauteur suffisante, le passage de la voie pourra avoir lieu au-dessus des maîtresses poutres du pont qui sera dit pont à voie en dessus (fig. 5).

Si la hauteur disponible n'est pas suffisante il faudra avoir recours au type de pont à voie en dessous dans lequel le tablier de la voie est situé entre les maîtresses poutres et à leur partie inférieure (fig. 6). Ce type permet de réduire les remblais aux abords de l'ouvrage ; mais celui à voie en dessus est plus avantageux et est usité toutes les fois que les données de hauteur le permettent. Cependant, dans le cas où le tablier se trouve à une grande hauteur au-dessus du sol, on a souvent recours à l'installation de la voie à la partie inférieure du tablier, car bien qu'elle entraîne une augmentation dans la hauteur des piles, elle offre plus de sécurité en cas de déraillement.

Dans certains cas, on adopte deux types intermédiaires. Dans le premier, le tablier de la voie est encore placé à la partie supérieure de la superstructure; mais au lieu d'être au-dessus des poutres il est placé entre elles, suffisamment en contre-bas des semelles supérieures, pour que les poutres de rive jouent le rôle de garde-roues ; cette disposition présente une garantie de sécurité, car les wagons ne peuvent basculer hors du pont s'ils viennent à être renversés par le vent. Dans le deuxième cas, le tablier se trouve à une hauteur au-dessus des semelles inférieures qui peut atteindre la moitié de la poutre (fig. 7).

Le type de pont étant adopté, il y a lieu d'examiner le nombre de poutres qu'il convient de lui donner. S'il s'agit d'un pont à

une voie, soit de fer, soit de terre, on emploie deux grandes poutres, aussi bien dans le cas de la voie en dessus que dans celui de la voie en dessous (fig. 69).

Quand deux voies sont nécessaires on emploie deux ou quatre poutres, quelquefois trois (fig. 63) ; mais ce dernier système ne semble pas à recommander. Le nombre des poutres dépend d'ailleurs de la question de dépendance ou d'indépendance des deux voies dans le sens de la largeur de l'ouvrage.

Dans le cas où les deux voies sont indépendantes on a deux superstructures de pont à voie unique (fig. 61).

Dans la pratique généralement suivie on donne aux poutres principales une hauteur égale au dixième de la portée environ.

Quand un ouvrage a plusieurs travées, deux dispositions peuvent être adoptées : ou bien chaque travée est indépendante ; alors les poutres sont coupées au droit des appuis et forment une succession de poutres distinctes ; ou bien les travées sont solidaires et chaque poutre est continue d'un bout à l'autre du pont.

En France, on préfère les travées solidaires ; on y trouve une certaine économie dans le poids du métal et l'avantage de pouvoir procéder à la mise en place du pont par lançage. Mais certains ingénieurs jugent que la solidarité n'est pas exempte d'inconvénients; elle entraîne forcément la variation du sens des efforts et par suite fait travailler le métal dans des conditions défavorables. De plus, la plus légère dénivellation des piles peut produire des effets très graves. Aussi, à l'étranger, cette disposition est-elle moins usitée. Par exemple elle n'est employée qu'exceptionnellement en Allemagne, en Hollande et en Amérique. Les inconvénients sont encore plus sensibles dans le cas d'une poutre continue à travées de longueurs inégales ; on doit craindre alors le soulèvement des petites travées. Nous verrons, dans le pont de l'Europe à Paris, que, pour une poutre à deux travées inégales, on a eu recours à un expédient pour empêcher ce soulèvement ; on a chargé l'extrémité de la petite travée d'un poids additionnel de plomb ; cette disposition a l'inconvénient d'augmenter la masse de la superstructure d'un

poids qui n'ajoute rien à sa résistance. On peut encore arriver au même résultat en ancrant l'extrémité de la petite travée ou bien en donnant à la travée voisine une raideur telle qu'elle ne fléchisse qu'aussi peu que possible sous l'action des surcharges ; ce dernier moyen a le défaut d'augmenter le poids du métal.

En ce qui concerne la constitution des poutres principales, les ponts présentent des formes très diverses qui caractérisent en quelque sorte les idées théoriques et pratiques des ingénieurs qui en ont conçu les projets.

Elles sont à *âme pleine* pour les petites ouvertures ; telles sont les *poutrelles laminées*, les *poutres en tôle*, les *arcs en tôle*. Pour de plus grandes ouvertures elles sont à *croisillons* et dans cette catégorie nous trouvons les *poutres à triangles*, les *poutres en treillis*, les *arcs triangulés*.

V. — POIDS DES PONTS MÉTALLIQUES.

Le poids des ponts varie suivant les conditions générales de leur construction, suivant les limites de travail que l'on admet pour le métal dans leurs diverses parties, suivant leur ouverture, etc.

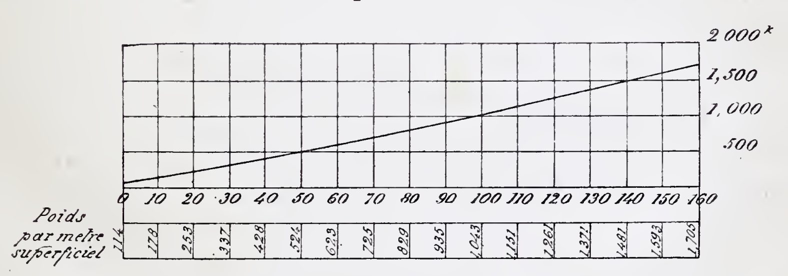


Fig. 9. — Ponts en tôle pour chemins de fer.

Le mode de montage influe aussi sur le poids à donner aux éléments des ponts ; c'est ainsi que l'on est conduit à renforcer ces éléments dans des cas où la mise en place se fait par lançage.

L'inspecteur général des ponts et chaussées, Croizette-Desnoyers, a dressé des courbes et des tableaux donnant le poids des

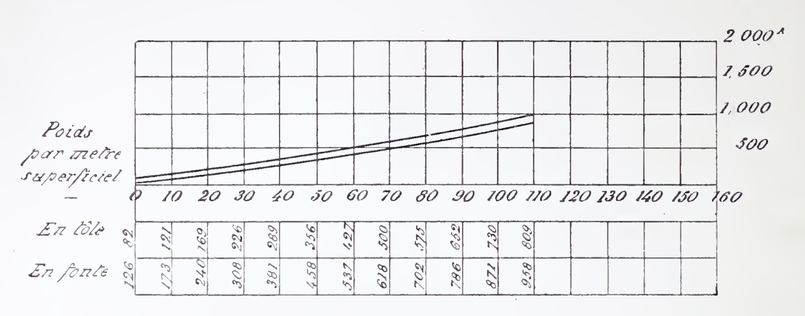


Fig. 10. — Ponts pour routes.

superstructures des ponts métalliques pour les ponts à poutres droites.

Les figures ci-dessus donnent les courbes des poids par mètre superficiel pour les superstructures de ponts métalliques dont les ouvertures varient de 0 à 160 mètres.

VI. — MONTAGE DES PONTS MÉTALLIQUES.

Plusieurs méthodes sont employées pour le montage des ponts métalliques. Le choix de la méthode dépend de bien des conditions différentes : il faut tenir compte du type du tablier, de sa portée, de la nature de l'espace à franchir, de la hauteur de l'ouvrage au-dessus de cet espace, etc.

Nous décrirons quelques-unes de ces méthodes.

1° *Montage au moyen d'échafaudages fixes.* — C'est le procédé mis en usage pour les premiers ponts.

On monte les échafaudages, soit sur une file de pieux enfoncés à intervalles égaux dans le lit de la rivière ou dans la vallée à traverser, soit sur des pieux réunis en un certain nombre de groupes et laissant entre eux un large débouché. La première disposition a

été appliquée au montage du pont en arc sur l'Erdre, à Nantes, et la deuxième au pont en arc du Carrousel, à Paris, au pont de Kuilembourg, etc.

Quelquefois les échafaudages sont employés sous forme de travées auxiliaires en bois ou en métal, comme aux ponts de Saint-Just, de Maien-Reuss. (fig. 11.)

2° *Montage au moyen d'échafaudages flottants.* — Toutes les parties d'une poutre de pont étant assemblées, on prend cette poutre et on la porte toute d'une pièce, sur un bateau ou un

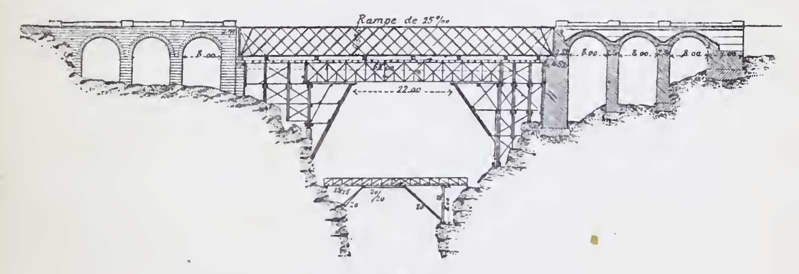


Fig. 11. — Viaduc de la Maien-Reuss. (Élévation.)

radeau, dans sa position définitive. C'est suivant cette méthode qu'ont été mis en place les ponts de Britannia, de Moërdyk, et le pont sur la Tay.

3° *Lançage par propulsion ou roulage.* — Ce système a été inauguré au viaduc de Fribourg (Le Creusot 1858). On commence par procéder au montage du tablier sur une des rives en le faisant reposer sur des appareils de roulage, *galets* ou *rouleaux à cannelures,* sur lesquels s'effectuera le roulage. Les cannelures servent à loger les têtes des rivets. Sur la couronne des piles sont aussi disposés des appareils de roulage que le tablier vient atteindre successivement dans son mouvement et sur lesquels il continue à rouler.

On installe ordinairement à l'avant du tablier un *avant-bec* qui doit être le plus léger possible et qui permet d'augmenter sans danger les porte-à-faux. Les appareils de roulage doivent être établis d'une façon très minutieuse; il ne doit pas se produire, de leur fait,

de déviations pendant le mouvement. La surface de contact doit être suffisante pour qu'il n'y ait pas écrasement du métal ; la surface de roulement doit être rendue aussi unie que possible et, quand ce sont des galets, ils doivent se trouver sous les âmes des poutres.

La mise en mouvement peut se faire de plusieurs façons :

Le tablier reposant sur de simples galets ou rouleaux, la traction s'exerce directement sur ce tablier, et c'est le frottement qui



Fig. 12. — Lançage du pont de Saint-André-de-Cubzac.

détermine la rotation des appareils. Une autre disposition consiste à agir directement sur les appareils en les faisant tourner, et ils entraînent alors les poutres ; dans ce dernier cas, l'axe des galets porte des engrenages que l'on manœuvre, soit avec une chaîne métallique, soit avec de grands leviers dépassant la partie supérieure des poutres.

Les leviers peuvent être actionnés à la main par des ouvriers ; quelquefois, afin d'assurer la simultanéité parfaite dans les actions sur les leviers, on réunit ces derniers par des chaînes mises elles-

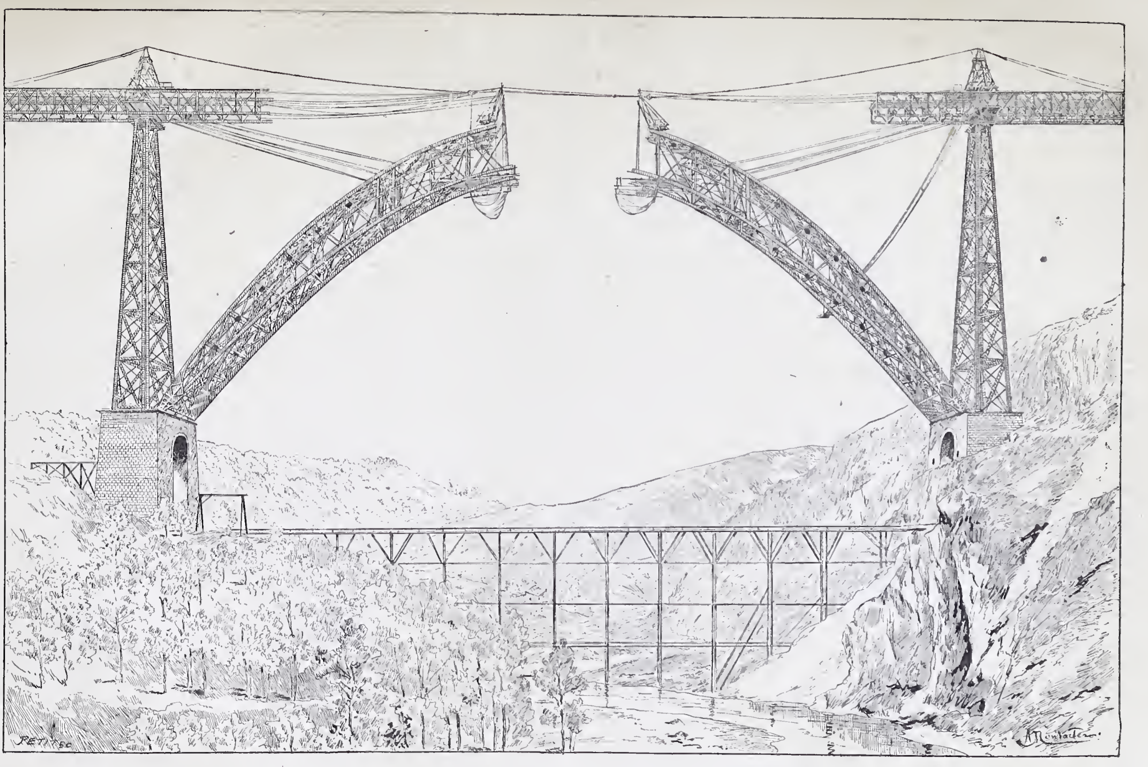


Fig. 13. — Viaduc de Garabit. (Montage de l'arc central.)

mêmes en mouvement par des treuils à bras ou à vapeur (viaduc de Saint-André-de-Cubzac).

Au lieu d'employer des galets isolés, on en réunit plusieurs sur le même cadre, chaque cadre formant une série indépendante. Les galets sont alors placés les uns devant les autres dans le sens de l'axe de la poutre.

Au viaduc de la Souleuvre, par exemple, on a employé des appareils comportant chacun deux galets, dont les essieux étaient portés par une genouillère unique, reposant elle-même sur un pivot horizontal. La plaque supportant ce pivot reposait sur une sorte de sommier élastique formé de ressorts Belleville (rondelles d'acier tronconiques). Ces rondelles établissaient l'égalité de réaction des appareils juxtaposés, au nombre de deux par poutre, sur chacune des piles; elles jouaient ainsi le rôle d'un troisième pivot supportant et équilibrant les deux appareils, avec cet avantage qu'elles prennent moins de place en hauteur.

Nous décrirons page 82 les dispositions analogues adoptées pour le lançage du nouveau pont du Manoir.

On profite quelque fois du lançage du tablier pour construire, chemin faisant, les piles métalliques sur lesquelles il doit reposer (viaducs de Fribourg et de la Bouble).

On peut aussi, pour le lançage d'un pont, se servir d'un bateau que l'on amène sous l'extrémité du tablier quand il s'est avancé dans le vide d'une certaine longueur (pont sur l'Hooghly, page 185). Par suite de la marée ou de l'épuisement de l'eau qui lui sert de lest, le bateau se soulève et sert d'appui au tablier que l'on continue à faire avancer vers la pile suivante. Cette façon d'opérer a surtout son utilité quand le pont n'a qu'une seule travée et que l'on ne veut pas avoir recours à une palée intermédiaire. Dans ce cas, on se sert encore pour le lançage d'un avant-bec à l'avant et d'un contre-poids à l'arrière.

Le système du lançage présente de nombreux avantages et est surtout appliqué aux travées continues. Cependant, il est encore employé pour des ponts (tel le pont Marcille), dont la continuité des

travées est assurée pendant le lançage et qu'on rend discontinues après leur mise en place.

4° *Le montage en l'air* ou en *porte-à-faux* consiste à monter le tablier au-dessus du vide, tronçon par tronçon, en ajoutant successivement une partie nouvelle à une première partie, montée et maintenue d'une façon quelconque. On commence le montage par les deux extrémités à la fois, ou d'un côté seulement, suivant les

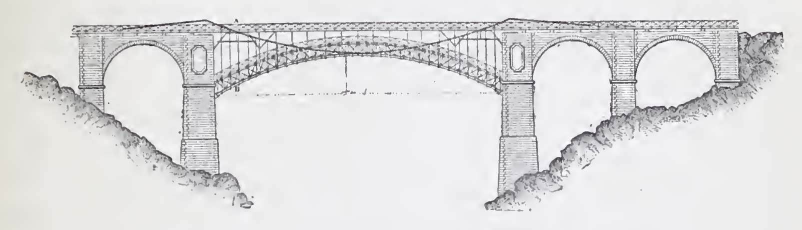


Fig. 14. — Pont d'El-Kantara.
(Élévation du cintre et du câble ayant servi au montage.)

circonstances. Dans les ponts en arc, la pose se fait en commençant par les deux côtés de la travée à la fois, pour aboutir à faire le joint à la clef. Comme exemple de montage en porte-à-faux nous citerons le pont sur l'El-Cinça, le pont Maria-Pia, le viaduc de Garabit (fig. 13), le pont de Saint-Louis sur le Mississipi.

5° *Le montage par câbles.* — De toutes les méthodes en usage pour la mise en place des ponts, une seule est comparable comme hardiesse au montage en porte-à-faux ; c'est le *montage par câbles*. Elle a été employée pour le pont d'El-Kantara, à Constantine (fig. 14), et pour le pont suspendu de Brooklyn.

CHAPITRE II

Ponts en fonte.

I. — CONSTRUCTIONS INDÉPENDANTES.

Les ponts en fonte de cette catégorie ont servi pour de faibles ouvertures et ont été employés à l'origine.

Ces ponts affectent des dispositions variées : tantôt la voie repose sur les semelles des poutres; dans ce cas, les poutres peuvent être simples ou bien jumelées et présenter à leur partie inférieure la forme d'un caisson dans l'intérieur duquel est posée la longrine qui supporte le rail; tantôt les rails sont placés directement au-dessus de la poutre.

Aujourd'hui ces ponts tendent à disparaître : on n'en construit plus de nouveaux et ceux qui existent seront, dans un temps plus ou moins long, remplacés par des ponts en tôle. L'emploi de la fonte doit en effet être proscrit pour les parties qui travaillent à l'extension directe ou à la flexion.

Nous ne les citons en conséquence que pour mémoire.

II. — CONSTRUCTIONS DÉPENDANTES. — PONTS EN ARC[1].

§ 1er. — Premiers ponts en fonte.

Dans les ponts construits à l'origine les arcs proprement dits étaient composés de *panneaux* ou *voussoirs* très largement évidés ; ils avaient, par suite, une grande tendance à se rompre. (Pont de Sunderland, en Angleterre, 1796. — Pont d'Austerlitz, sur la Seine,

1. Voir, page 17, la description des parties constitutives d'un pont en arc.

à Paris, 1806.) C'est ainsi qu'au pont d'Austerlitz dont les arches avaient 32 mètres de portée et dont la figure 15 représente un voussoir, on a constaté environ six mille ruptures quand on a démoli cet ouvrage pour le remplacer par un pont en maçonnerie.

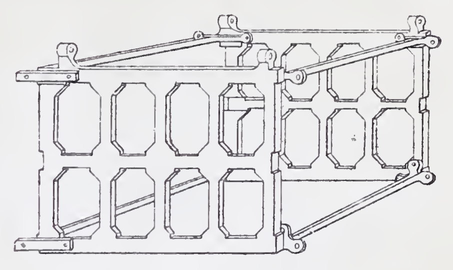


Fig. 15. — Pont d'Austerlitz. (Vue perspective d'un voussoir.)

Pont des Arts. — Dans ce pont (fig. 16), construit à Paris, en 1803, ce sont des barreaux de fonte n'ayant que $0^m,20$ de hauteur sur $0^m,08$ d'épaisseur qui forment les arcs. C'est à proprement parler une passerelle pour piétons qui offre peu de résistance; aussi les jours de foule y suspend-on la circulation.

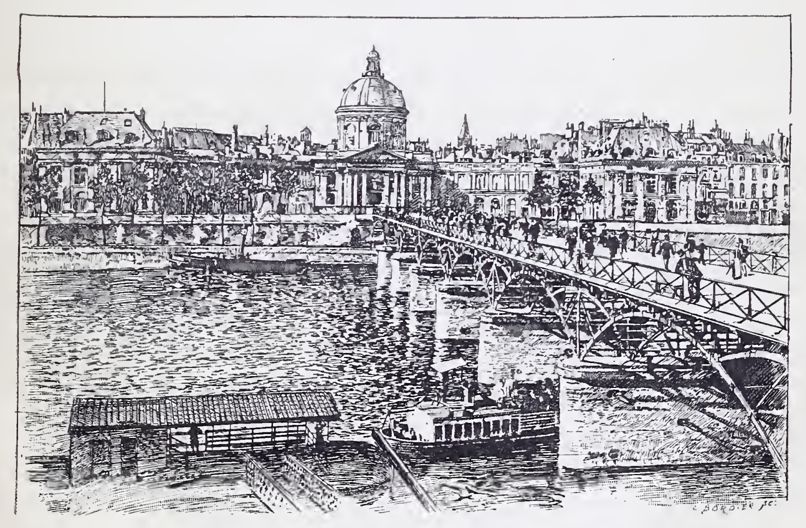


Fig. 16. — Pont des Arts, à Paris.

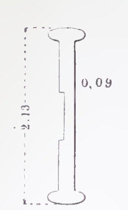


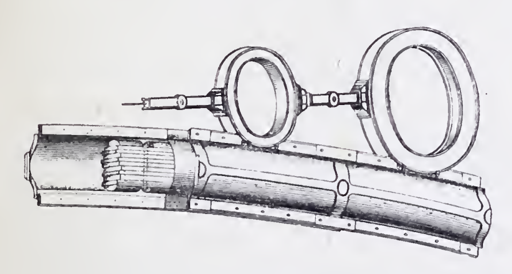
Fig. 17. Section de l'arc du pont de Southwark.

Une amélioration sensible consista dans le remplacement des voussoirs évidés par des voussoirs pleins pour la constitution des arcs. Tel est le cas du **pont de Southwark**, pont-route sur la Tamise, construit à Londres en 1818. Il a trois arches dont les deux extrêmes ont une ouverture de 64 mètres et l'arche centrale une ouverture de 73 mètres. La section de l'arc est un double T qui a une hauteur de 2^{m},13 et une épaisseur de 0^{m},09 (fig. 17). Les voussoirs se relient l'un à l'autre au moyen de nervures assemblées par des boulons. Le poids des fontes s'est élevé à vingt-huit tonnes par mètre linéaire pour une largeur entre les têtes de 14^{m},50.

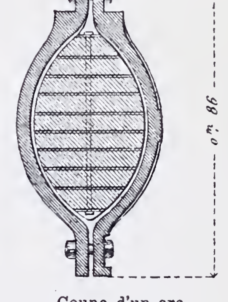
Fig. 18. — Pont du Carrousel, à Paris.

Pont du Carrousel. — En 1835, Polonceau construisit ce

pont d'un type tout spécial (fig. 18). Il est formé de trois arches de 47^{m},67 d'ouverture et chacune de ces arches comprend cinq fermes espacées de 2^{m},80. Les arcs ont une section ovoïde et leur vide intérieur est rempli par une âme en bois (fig. 20). Les tympans consistent en une série d'anneaux dont les diamètres décroissent depuis les naissances jusqu'à la clef (fig. 19). Ces anneaux n'ont de contact avec les autres parties du pont qu'en un nombre très restreint de points



Vue perspective d'une portion de ferme.



Coupe d'un arc.

Fig. 19 et 20. — Pont du Carrousel, à Paris.

et, de plus, les diverses pièces de l'ouvrage ont été laissées aussi indépendantes que possible, ce qui est le contraire de la tendance générale qui consiste à les rendre solidaires; par suite, le pont possède une grande élasticité. Ce système a reçu deux applications intéressantes : l'une à la Mulatière, près de Lyon; l'autre sur le canal Saint-Denis, près de Paris.

§ 2. — Description de divers ponts en fonte.

A. — *Ouvrages supportant des voies de fer.*

1° EN FRANCE

Pont de Villeneuve-Saint-Georges. — En 1846, sur le chemin de fer de Paris à Lyon, on a construit un grand nombre de ponts en arc en fonte, d'ouvertures moyennes variant entre 15 et

40 mètres. Ce sont les ponts de Montereau, de Charenton, de Villeneuve-Saint-Georges, etc. Ce dernier pont, qui est biais, présente cette particularité que les tympans sont pleins et forment des encoffrements qu'on a remplis de ballast. Cette disposition augmente notablement la masse de l'ouvrage; mais elle a pour avantage de diminuer l'effet des trépidations causées par le passage des charges roulantes.

Pont de Nevers (1850). — Ce pont, construit sur la Loire, comprend sept arches de 42 mètres d'ouverture et de $4^m,55$ de flèche dont chacune est formée de sept arcs reliés par des entretoises de deux natures : les unes, normales aux fermes des arcs,

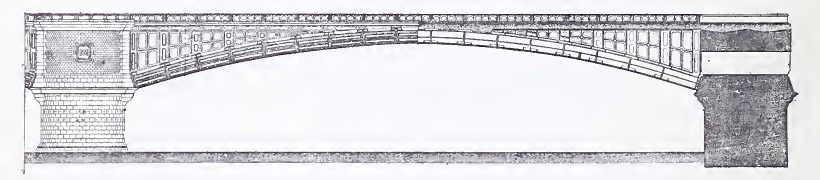


Fig. 21. — Pont de Tarascon. (Élévation et coupe longitudinale d'une arche.)

consistent en des manchons en fonte traversés par des boulons en fer, les autres obliques et disposées en croix de Saint-André. Les tympans sont formés de trapèzes à joints verticaux, divisés en triangles. Le plancher, formé de plaques en fonte, supporte une couche de ballast de $0^m,75$, ce qui a pour effet de diminuer beaucoup les vibrations. Le poids du métal est de 8,800 kilogrammes par mètre linéaire d'ouverture pour une largeur de $8^m,40$ entre les têtes.

Pont de Tarascon (1852). — C'est un ouvrage remarquable et qui s'est bien comporté jusqu'ici. Nous le choisirons comme exemple pour donner un aperçu des détails de construction d'un ouvrage en fonte.

Il comprend sept arches de 60 mètres de portée et de 5 mètres de flèche ; il est construit pour deux voies.

Chaque travée est composée de huit arcs; la largeur totale

entre les arcs de tête est de 8m,96 d'axe en axe. Les arcs ont une hauteur constante de 1m,70 et une section représentée par la figure 22.

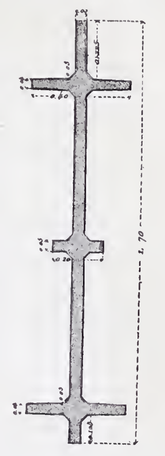


Fig. 22. — Pont de Tarascon. (Section d'un arc intermédiaire.)

Les arcs sont solidement reliés entre eux par deux systèmes d'entretoises s'appuyant : l'un, sur la nervure supérieure ; l'autre, sur la nervure inférieure (fig. 25) ; les entretoises sont réunies aux arcs par des assemblages à queue d'aronde scellés avec du mastic de limaille de fer.

Deux sabots ont été disposés aux naissances pour compenser les différences dans la longueur totale des arcs ; ils sont ancrés dans la maçonnerie des piles et des culées. Des clefs de serrage sont intercalées entre ces sabots et les voussoirs qu'ils supportent pour bien régler et serrer les arcs (fig. 23).

Les tympans sont formés : 1° de montants évidés de 1m,10 de largeur, qui reposent sur les joints mêmes des voussoirs contigus ; 2° de châssis plus légers remplissant les intervalles laissés entre les montants (fig. 21).

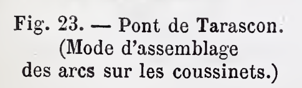


Fig. 23. — Pont de Tarascon. (Mode d'assemblage des arcs sur les coussinets.)

Les tympans sont reliés par des poutres horizontales, par des croix de Saint-André et par des plaques en fonte qui forment le plancher. Ces plaques en fonte, qui reçoivent directement le ballast, ont 0m,018 d'épaisseur et sont renforcées par des nervures de 0m,08 de hauteur ; elles sont en outre arquées

avec une flèche de $0^m,09$. Sur les voussoirs supérieurs et sur une longueur de 17 mètres, ces plaques reposent directement sur les

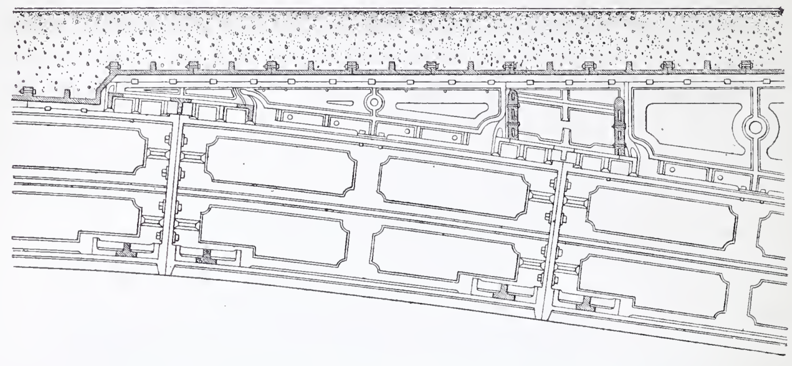


Fig. 24. — Pont de Tarascon. (Coupe longitudinale partielle.)

arcs et, tandis que l'épaisseur du ballast est de $0^m,62$ au-dessus des premiers voussoirs, elle est de $0^m,90$ à une distance de $8^m,50$ du sommet de l'arche (fig. 24); en augmentant ainsi le poids du

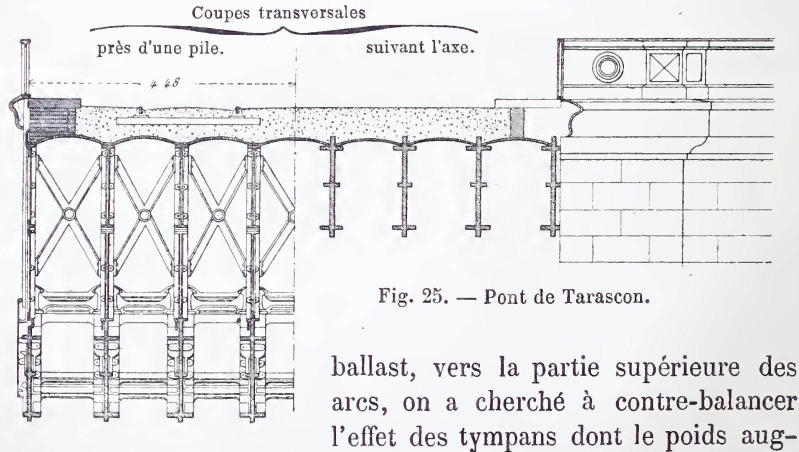


Fig. 25. — Pont de Tarascon.

ballast, vers la partie supérieure des arcs, on a cherché à contre-balancer l'effet des tympans dont le poids augmente vers les naissances. Chaque arc est composé de dix-sept voussoirs reliés ensemble par huit boulons et qui s'appuient, dans

toute leur hauteur, sur une surface de 0m,40 de largeur parfaitement rabotée. Les pièces des tympans ont été assemblées au moyen de nervures de 0m,03 de largeur et de 0m,02 de saillie, distantes de 0m,50 les unes des autres, de manière à éviter un rabotage général. Elles ont été réunies ensemble par des boulons et les vides ont été remplis de mastic de limaille de fer.

Le poids de l'ouvrage par mètre linéaire d'ouverture est de 18,000 kilogrammes. (Ingénieurs : Collet-Meygret et Desplaces. — Constructeur : Usine de Fourchambault.)

Ponts de la ligne de Paris à Rouen sur la Seine. — De 1854 à 1859, les ponts en bois de cette ligne ont été remplacés par des ponts en fonte. Ce sont les ponts de Bezons, de Maisons, du Manoir, de Tourville, d'Oissel et d'Eauplet.

Tous ces ponts sont construits sur un modèle uniforme.

Les tympans supportent des longerons en fonte formant des bandeaux rectilignes sur toute la longueur de l'ouvrage ; la section normale des arcs est modifiée à leur partie supérieure de part et d'autre de la clef. Dans cette partie, l'arc fait corps avec le longeron ; la hauteur totale de l'arc et du longeron réunis se réduit progressivement de manière à ne pas dépasser, au sommet même, la hauteur de l'arc seul, c'est-à-dire 1 mètre.

Des entretoises en fer à double T relient les longerons en fonte des fermes et supportent directement les longrines sur lesquelles reposent les rails. Un plancher en bois, recouvert d'une mince couche de ballast et fixé sur ces entretoises, règne sur toute la surface du tablier. Mais ce ballast était insuffisant pour amortir les trépidations dues au passage des charges roulantes ; car il ne présentait qu'une épaisseur de 0m,10 et n'augmentait que d'une façon insignifiante la masse de l'ouvrage.

Des détériorations ont été constatées dans ces ouvrages ; elles sont d'ailleurs peu importantes et consistent dans des fissures de barres de tympans ou de boîtes à queue d'aronde des entretoises des arcs.

La Compagnie de l'Ouest, malgré le bon état de ces ouvrages,

a décidé leur reconstruction ; car, en présence du poids toujours croissant des machines et de l'augmentation continuelle des vitesses, elle craint que ces ponts, dont les dimensions ont été déterminées

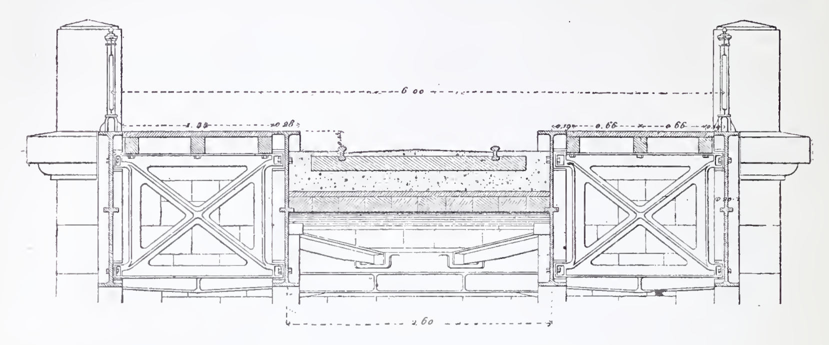


Fig. 26. — Pont de la Voulte. (Coupe transversale à la clef.)

pour des charges notablement moindres, ne présentent plus toutes garanties de sécurité pour l'avenir. C'est ainsi qu'elle vient de remplacer par un nouveau pont en tôle (fig. 58) le pont du Manoir, représenté en partie par la même figure.

Pont de la Voulte (1861). — Construit sur le Rhône pour une seule voie, il est formé de 5 arches de 55^{m},60 d'ouverture.

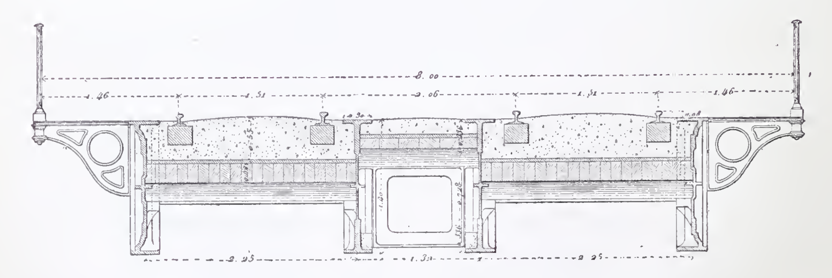


Fig. 27. — Pont sur le Var. (Coupe transversale à la clef.)

Chaque arche comprend quatre fermes principales ayant une section en forme de double T (fig. 26). Les deux arcs de rive sont reliés aux arcs intermédiaires par des croix de Saint-André, et les

deux arcs intermédiaires supportent, au moyen d'entretoises, de petites voûtes en briques sur lesquelles reposent le ballast et la voie. Le poids de la partie métallique est de 4687 kilogrammes par mètre linéaire, pour une largeur de 6 mètres.

Pont sur le Var (1863). — Il a été construit près de Nice, pour deux voies. La coupe transversale (fig. 27) montre la section des deux arcs de rive et des deux arcs intermédiaires et leur mode d'entretoisement. Les arcs sont reliés entre eux par des entretoises supportant des voûtes sur lesquelles repose le ballast. Les arcs intermédiaires sont en outre reliés par des châssis évidés. Enfin des consoles supportent de chaque côté le trottoir et le garde-corps.

2° A L'ÉTRANGER

Pont de Rochester (1861). — Construit sur la rivière de Midway pour le chemin de fer de Douvres à Londres, il est composé

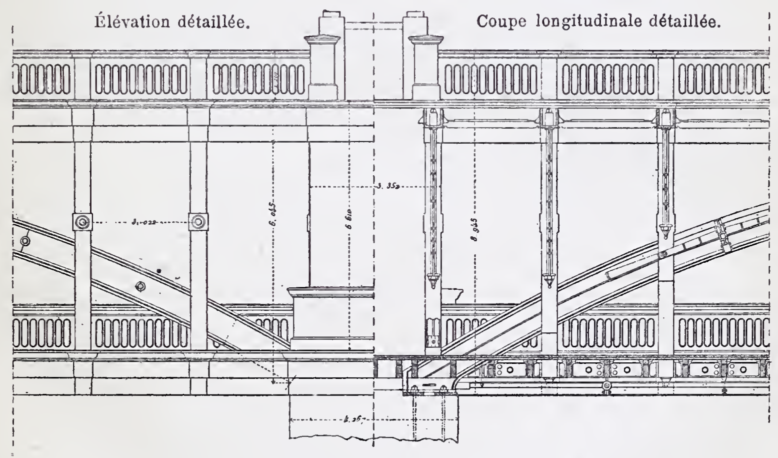


Fig. 28. — Viaduc dit : High-Level, à Newcastle.

de trois arches en fonte de $51^{m},85$ d'ouverture pour la travée centrale et de $42^{m},70$ pour les deux autres.

Les arcs sont pleins, avec de fortes nervures. Une travée

tournante en tôle existe à l'une des extrémités, pour le service de la navigation.

Holborn-Viaduct. — Nous avons déjà dit que la fonte se prête très bien à la décoration des ouvrages ; elle permet de donner aux arcs, aux tympans et aux couronnements des formes monumentales. Le pont dit Holborn-Viaduct, construit à Londres pour le passage d'un chemin de fer sur une rue, est un exemple à citer à ce point de vue. Il se compose de trois arches, l'une de 18^{m},30, les deux autres de 5^{m},50 chacune ; il présente un biais de 60°. Les arcs sont formés de deux poutres accolées en forme de double T et le plancher est constitué par de fortes tôles ondulées.

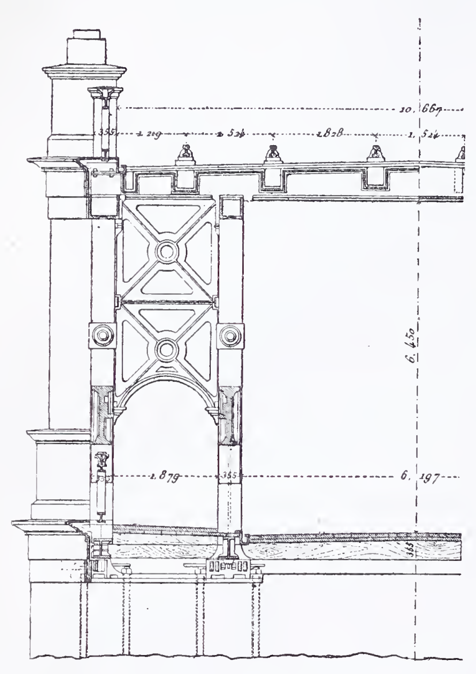


Fig. 29. — Viaduc dit : High-Level, à Newcastle. (Demi-coupe en travers.)

Viaduc de High-Level (1849). — Élevé sur la Tyne, à Newcastle, par R. Stephenson, ce viaduc est des plus remarquables et d'un grand effet ; il est du type dit des ponts suspendus à des arcs. Il comprend six arches de 38^{m},05 d'ouverture, dont une partie est représentée par la figure 28. Il est à double étage : l'étage supérieur supporte trois voies de fer ; à l'étage inférieur, situé à 9 mètres au-dessous du précédent, se trouve le passage d'une route avec ses deux trottoirs (fig. 29).

Chaque arche se compose de quatre arcs en fonte à section de double T, reliés horizontalement à leur partie inférieure par de

forts tirants en fer méplat. Sur ces arcs s'appuient des pilastres creux en fonte qui se prolongent au-dessous d'eux et qui sont traversés par de grandes tiges dont une extrémité est boulonnée au-dessous des longrines. La hauteur des arcs varie seulement de $1^{m},07$ à $1^{m},14$; l'épaisseur de leur partie centrale est de $0^{m},076$ pour les deux arcs intermédiaires et de $0^{m},050$ pour les arcs de rive.

Ce pont, qui existe depuis plus de quarante ans, s'est bien comporté. Le poids total des fontes a été évalué à 5,000 tonnes, soit à environ 20 tonnes par mètre linéaire, pour une largeur de $10^{m},70$ entre les têtes.

B. — *Ouvrages supportant des voies de terre.*

Si l'emploi de la fonte peut être recommandé, c'est pour les ponts supportant des voies de terre. En effet, les charges qui circulent sur les routes sont moindres que celles que l'on rencontre sur les voies ferrées, et les vitesses sont incomparablement moins grandes ; l'on a par suite moins de chances de rupture.

1° EN FRANCE

Pour les ouvrages de petite ouverture, on peut citer les types appliqués par l'Inspecteur général des ponts et chaussées Morandière. L'ouverture de ces ponts est de 16 mètres; ils comportent quatre ou cinq fermes suivant qu'ils sont construits pour une voie charretière simple ou pour une voie double. De légères entretoises en fer, reliées avec les arcs et les tympans, supportent de petites voûtes en briques sur lesquelles reposent la chaussée et les tottoirs. Un pont à une voie pèse 18,000 kilogrammes ; un pont à deux voies 32,000 kilogrammes.

Passons en revue quelques ouvrages de grandes dimensions :

A Paris, nous avons sur la Seine le pont de Solférino (1859), le pont Saint-Louis (1861), le pont Sully (1876), le pont de Grenelle

(1875), le pont de Suresnes (1874) et le pont au Double (1882).

Pont Saint-Louis (1861). — L'arche unique a une ouverture de 64 mètres avec un surbaissement de $\frac{1}{11}$. Elle est composée de sept fermes intermédiaires dont les arcs ont une hauteur de $1^{m},80$ aux naissances et de $1^{m},20$ à la clef. Les trois voussoirs de clef et de contre-clef sont reliés ensemble par un système d'entretoises allant d'une rive à l'autre ; les autres voussoirs sont solidement reliés entre eux par des entretoises horizontales placées alternativement à l'intrados et à l'extrados. Les tympans sont formés de

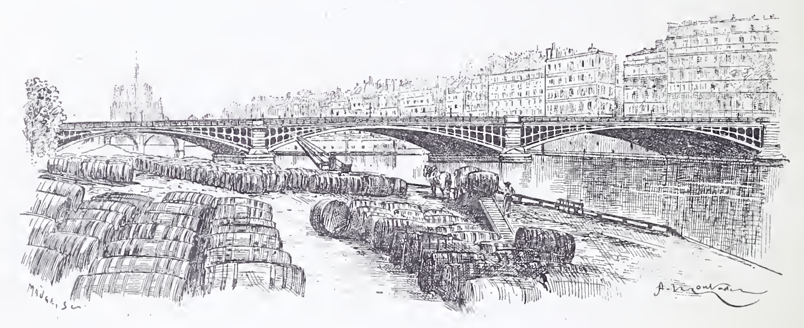


Fig. 30. — Pont Sully, à Paris.

panneaux évidés, réunis entre eux et avec les arcs au moyen de boulons ; on a eu soin de croiser les joints des voussoirs avec ceux des panneaux des tympans. On a réduit autant que possible l'épaisseur des petites voûtes en briques, ce qui a permis de diminuer plusieurs dimensions de la partie inférieure de l'ouvrage. En revanche, on a augmenté le poids des arcs qui constituent la partie essentielle du pont. Le poids du métal s'est élevé à 740 kilogrammes par mètre superficiel.

Pont Sully (1876). — Construit sur le bras principal de la Seine, à Paris, pour le prolongement du boulevard Saint-Germain, il comprend deux travées de 44 mètres et une de 52 mètres (fig. 30).

La largeur droite entre les têtes est de 20 mètres. Le biais de 52° et la faible hauteur disponible ont compliqué beaucoup l'exé-

cution. A signaler que les arcs, au nombre de onze, ont seulement 0,60 de hauteur, et que leur entretoisement au lieu d'être en fonte, est entièrement en fer. C'était une heureuse innovation. (Maison Joret.)

Ponts de Grenelle (1875). — Les deux ponts sur les deux bras de la Seine présentent chacun trois arches de 25 mètres d'ouverture. Ils ont une largeur de 10 mètres. Chaque arche est composée de cinq fermes ; la section des arcs est un double T ; les tympans sont composés de panneaux évidés en forme d'arcades.

Les entretoisements des arcs sont en fer ; ils sont formés de deux fers en U placés dos à dos et fixés sur des nervures venues de fonte ; les arcs sont en outre contreventés par des fers en U placés en diagonales. Les tympans sont entretoisés par deux traverses et une croix de Saint-André en fers Zorès attachés à des platines serrées entre deux montants consécutifs.

Le poids du métal est de 389 kilogrammes par mètre superficiel en plan. (Usine Cail.)

Pont de Suresnes (1874). — Le pont a une courbe d'intrados de forme elliptique. Il est empreint d'une grande élégance.

Pont de Vichy (1870). — Il comprend cinq arches de 37 mètres d'ouverture et a une largeur de $4^{m},60$ seulement entre les trottoirs ; ceux-ci sont en encorbellement ; les fermes sont au nombre de deux et sont reliées par des poutrelles supportant de petites voûtes en briques. C'est un type dont l'usage est à recommander.

Pont d'El-Kantara (1864). — Cet ouvrage a été construit en 1864, à Constantine. Il comporte une seule arche de $57^{m},40$ d'ouverture surbaissée de 1/8 (fig. 32). La largeur est de 10 mètres entre garde-corps. Les arcs, au nombre de cinq, sont formés de quinze voussoirs assemblés par boulons. Leur section est en forme de double T. Le tablier sous la chaussée est formé de plaques de fonte légèrement cintrées, allant d'un arc à l'autre. Les trottoirs sont également formés de plaques de fonte (fig. 31). Les poutres de rive avec leurs tympans présentant une suite de couronnes ornées d'où partent des bras obliques, leurs arcs, leurs corniches

et leurs garde-corps, d'une ornementation soignée, sont d'un très gracieux effet.

Ce pont, jeté sur le gouffre du Rummel, de 120 mètres de profondeur, a présenté de très grandes difficultés de montage, la hauteur au-dessus du fond du ravin interdisant l'emploi de tout échafaudage. Le procédé de montage que M. Martin a employé est intéressant, bien que ce procédé, qui consiste à avoir recours à un cintre provisoire en bois pour monter un autre cintre, en fonte il est vrai, semble au premier abord peu logique; toutefois, il donne un moyen simple de jeter une voûte entre deux points d'appui séparés par une profondeur presque indéfinie. Le cintre n'était qu'une sorte d'arche en bois composée d'arcs calés sur les culées (fig. 14). L'arche en bois a été construite en établissant d'abord une passerelle suspendue à des câbles en fer et dont le tablier avait la forme cintrée du dessous même des arcs en bois. Les câbles étaient supportés aux culées par des chevalets en bois armés de fonte, amarrés solidement à des massifs en maçonnerie.

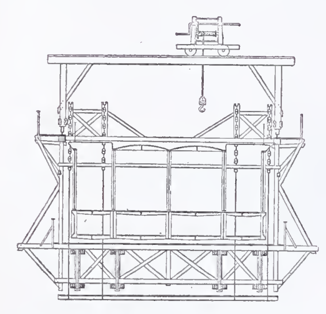


Fig. 31. — Pont d'El-Kantara. (Coupe transversale pendant le montage, les fontes posées.)

Des tiges de suspension descendant de ces câbles venaient supporter des poutrelles sur lesquelles se clouait le tablier cintré. Ce tablier établi, on est venu monter pièce à pièce les arcs en bois, taillés à l'avance, destinés à former cintre. Sur l'arche en bois ainsi formée s'élevaient des montants bien reliés qui venaient soutenir le pont de service destiné à supporter la grue roulante servant au montage. Une fois le cintre ainsi disposé et le pont de service installé, le montage de l'arche métallique n'a plus offert aucune difficulté. Une grue roulante a pris une à une les pièces de fonte et les a déposées successivement à leur place.

Ponts avec articulations. — Nous devons citer une série de

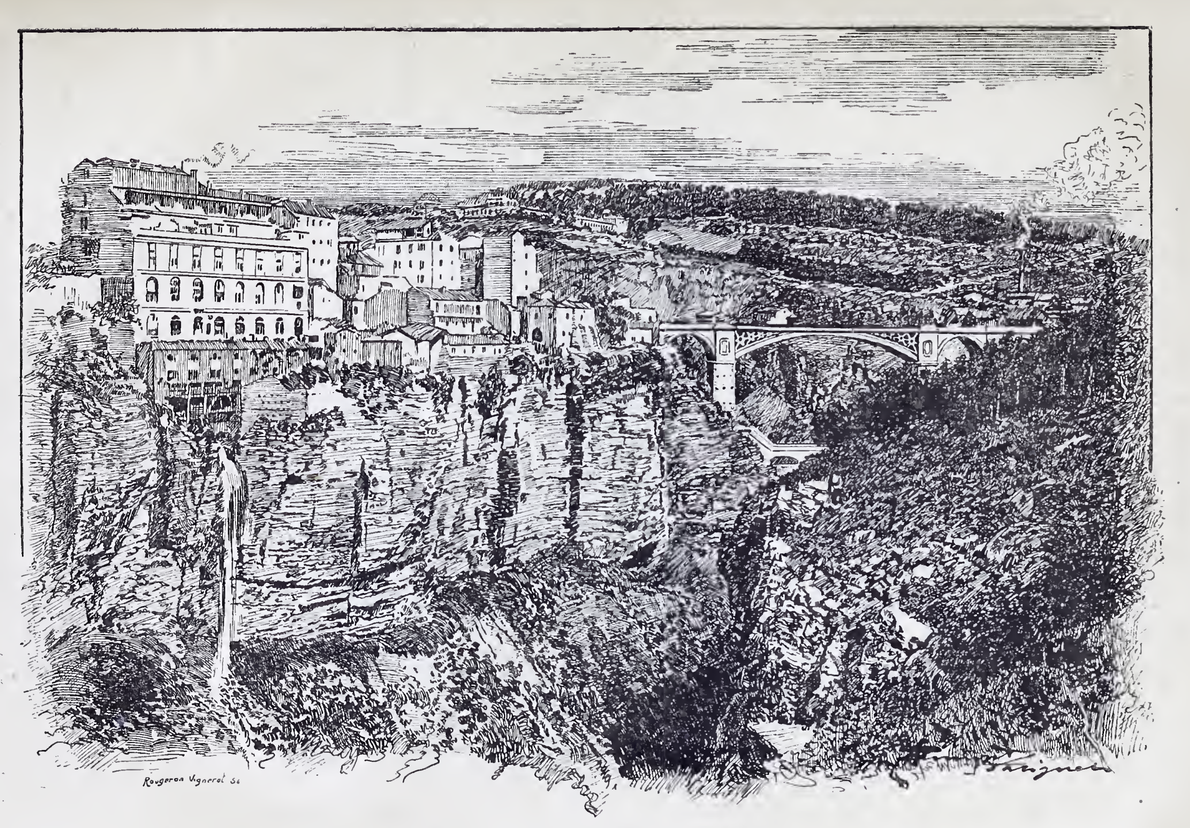


Fig. 32. — Pont d'El-Kantara, à Constantine.

ponts en fonte qui ont été construits au-dessus du canal de l'Aisne par M. l'Ingénieur en chef des ponts et chaussées, Gérardin, et qui présentent une disposition particulière : ils comportent des articulations aux arcs. Ces ponts sont à une seule arche de 14 mètres d'ouverture ; leur largeur est de 4 mètres entre les têtes. Les arcs, au nombre de deux, sont articulés en trois points : aux deux naissances et à la clef (fig. 33).

Voici dans quel but cette disposition a été adoptée : dans les ponts en arc la courbe des pressions doit être comprise entre les

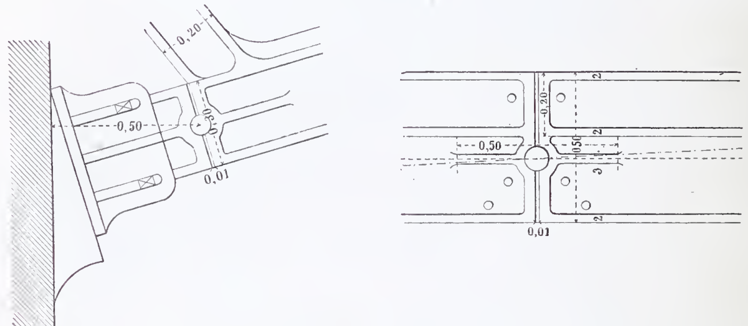


Fig. 33. — Articulations aux naissances et à la clef.

deux arcs d'intrados et d'extrados et, au point de vue de la répartition des pressions, il suffit de considérer l'arc moyen. Or, en disposant les arcs de telle sorte qu'ils reposent aux naissances et à la clef par l'intermédiaire d'articulations, la courbe des pressions passera toujours entre les arcs d'intrados et d'extrados en ces trois points.

Nous rencontrerons des exemples d'arcs articulés dans les ponts en tôle.

2° A L'ÉTRANGER

Pont de Waterloo (1815). — Citons tout d'abord, à titre de curiosité historique, le pont de Waterloo, sur la Conway, près de Bettws y Coëd, en Angleterre (fig. 34). Il a été construit l'année

même de la bataille de Waterloo (1815). Ce fait est rappelé par une inscription qui s'étend sur tout le développement de l'arc de rive et qui est la suivante :

This arch was constructed in the same year the battle of Waterloo.

Pont du Great-Western Road. — Comme spécimen de pont en fonte construit récemment (1891), nous citerons le pont du



Fig. 34. — Pont de Waterloo, sur la Conway.

Great-Western Road, à Glasgow (fig. 35); il comprend deux arches de $27^{m},70$ d'ouverture et deux plus petites. Sa largeur est de 17^{m} 27. Les arches sont formées chacune de neuf fermes. Les arcs de chaque ferme sont composées de cinq voussoirs réunis par des boulons (fig. 36); les tympans sont en trois segments boulonnés et supportent les poutres du tablier en acier doux Martin Siemens, réunies entre elles par des voûtes en briques. La chaussée est recouverte de pavés reposant sur un lit de mortier. L'acier employé

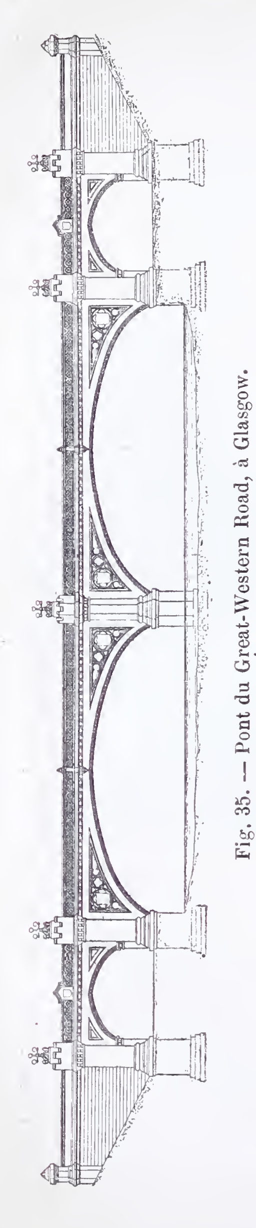


Fig. 35. — Pont du Great-Western Road, à Glasgow. (Élévation.)

dans la construction devait résister à une traction de 55 kilogrammes par millimètre carré ; le métal des rivets, du meilleur acier doux Martin, devait avoir la même résistance.

Pont sur la Wien (1869). — Construit à Vienne (Autriche), ce pont est formé d'une seule arche de $30^{m},30$ d'ouverture, surbaissée à 1/10 (fig. 37).

La section des arcs est un anneau avec

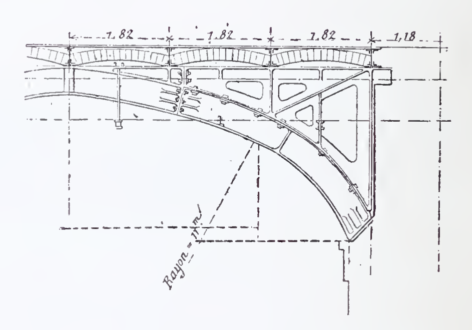


Fig. 36. — Pont du Great-Western Road, à Glasgow. (Coupe longitudinale d'une demi-arche.)

quatre nervures; ces arcs supportent, au moyen de montants verticaux et de diagonales dont la section est en forme de croix, des longerons en forme de double T sur lesquels repose le tablier. Il existe des articulations aux naissances et à la clef.

Dans certains ponts, comme le viaduc de High-Level, le tablier est suspendu à des arcs en fonte.

Parmi ces ponts nous pouvons citer le

pont de Buildwash, le plus ancien, construit en 1705 ; le pont sur

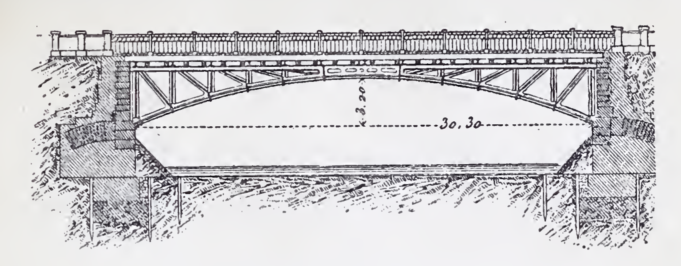


Fig. 37. — Pont sur la Wien, à Vienne.

le canal du Régent; le pont sur le canal de Paddington et le pont de Leeds.

Pont de Leeds (1829). — Le pont sur l'Aire, à Leeds, pré-

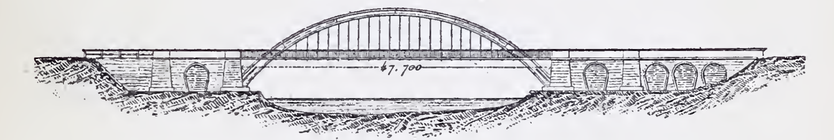


Fig. 38. — Pont de Leeds, en Angleterre. (Élévation.)

sente des dispositions bien conçues, qui peuvent servir de type. Il a une ouverture de 47m,70 (fig. 38).

Pont sur le Rock-Creek.— Ce pont, construit près de Washing-

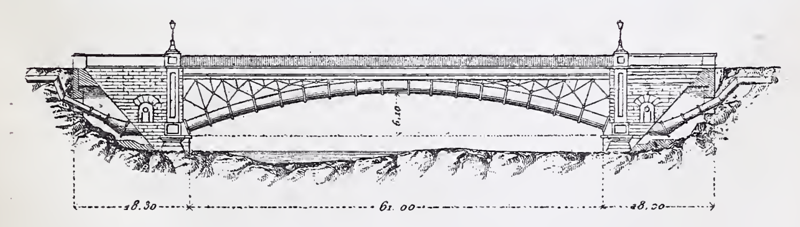


Fig. 39. — Pont sur le Rock-Creek, aux États-Unis. (Élévation.)

ton, aux États-Unis (fig. 39), présente cette particularité qu'on a

utilisé une double conduite d'eau pour supporter le tablier. Chaque conduite est formée d'une série de tuyaux de 1m,22 de diamètre intérieur et de 0m,038 d'épaisseur et est disposée en arc. Sur cet arc repose le tablier par l'intermédiaire de montants inclinés, dirigés sensiblement suivant la normale à l'arc et réunis par des croix de Saint-André.

CHAPITRE III

Ponts en tôle.

ASSEMBLAGE DES TÔLES

Les épaisseurs des tôles ordinairement adoptées dans la construction des ponts varient de 0m,005 à 0m,020 ; mais il est désirable de ne pas descendre à un chiffre trop faible en raison de la diminution d'épaisseur qui peut provenir, dans la suite, de l'oxydation du métal.

Dans les cas où l'on doit avoir une grande épaisseur de métal, par exemple pour les semelles des poutres, on superpose plusieurs tôles d'épaisseur moyenne.

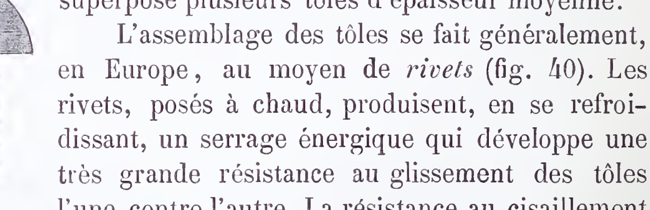


Fig. 40. — Rivet.

L'assemblage des tôles se fait généralement, en Europe, au moyen de *rivets* (fig. 40). Les rivets, posés à chaud, produisent, en se refroidissant, un serrage énergique qui développe une très grande résistance au glissement des tôles l'une contre l'autre. La résistance au cisaillement est proportionnelle au nombre de sections à trancher, c'est-à-dire au nombre de tôles assemblées moins une.

Les conditions pratiques adoptées pour le diamètre et la pose des rivets, par rapport aux dimensions des tôles, sont les suivantes :

La distance entre l'axe du rivet et le bord de la tôle doit être égale à deux fois et demie le diamètre du rivet ;

Le diamètre du rivet doit être au plus égal au double de l'épaisseur de la feuille de tôle la plus épaisse parmi celles à river ;

L'écartement d'axe en axe des rivets doit être au plus égal à cinq fois le diamètre de ces rivets.

Le nombre des rivets à employer est généralement déterminé de telle sorte que la somme des sections à trancher soit au moins égale à une fois la section totale des tôles à réunir ; pour plus de sûreté, on va jusqu'à une fois et demie.

La rivure est une des opérations les plus importantes de la construction des ponts ; aussi doit-elle être particulièrement soignée.

Aujourd'hui, on emploie fréquemment pour faire le rivetage, aussi bien sur les chantiers de montage que dans les usines, des riveuses mécaniques ; on substitue ainsi à l'action de l'homme une action bien plus énergique et constante. Dans certains ateliers, on se sert de machines analogues à celles utilisées pour la fabrication des rivets et le poinçonnage des tôles ; dans d'autres, ce sont des riveuses mues par l'air comprimé ou par la vapeur ; mais on emploie principalement les riveuses hydrauliques qui se recommandent par leur action d'une extrême douceur. Dans ces dernières, l'eau sous pression agit sur un piston qui porte la bouterolle d'écrasement.

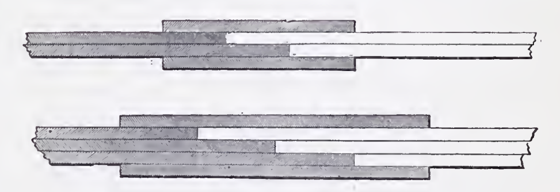


Fig. 41. — Assemblage de feuilles de tôle superposées.

Dans certaines de ces machines, une pompe à plongeur comprime, pour chaque opération d'écrasement d'un rivet, le liquide qui agit sur le piston porte-bouterolle ; dans les autres, le piston reçoit la pression de l'eau préalablement comprimée et maintenue sous charge par un accumulateur. Comme moteur, les riveuses du premier type peuvent comporter une machine électrique, ce qui a pour effet de simplifier notablement les installations.

Une des premières applications du rivetage mécanique sur

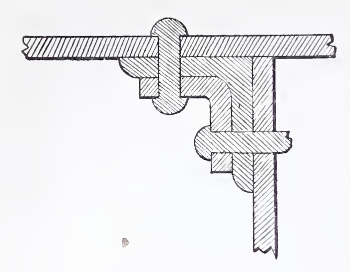


Fig. 42. — Cornière d'assemblage et couvre-joint.

chantier de montage a été faite aux viaducs d'accès du pont de chemin de fer de Cubzac, construits par la Compagnie de Fives-Lille. Dans ces dernières années, quelques ouvrages importants ont de même été rivés sur place à la machine, entre autres le pont du Forth. On emploie ce système de rivetage au pont-route de Cosne et au pont-canal de Briare, tous deux actuellement en construction.

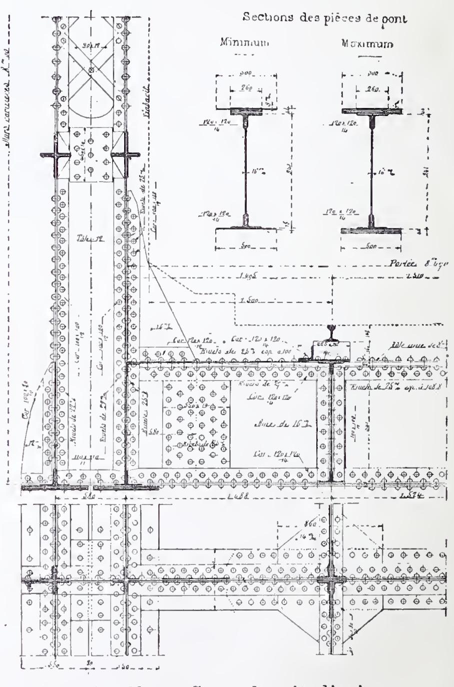


Fig. 43. — Coupe longitudinale et coupe transversale partielles du tablier du pont du Manoir. (Attache des pièces.)

Quand on fait le rivetage sur place à chaud, il faut avoir sur le chantier même des fours portatifs à chauffer les rivets.

Pour assembler deux feuilles de tôle, on les place dans un même plan et on les réunit au moyen de deux couvre-joints dont l'épaisseur totale doit être égale à celle des tôles.

Quand on a deux ou trois feuilles de tôle superposées à assembler, on adopte aujourd'hui les dispositions indiquées par la figure 41, dans lesquelles on emploie un seul couvre-joint ou deux; l'ensemble des deux couvre-joints ou le couvre-joint seul devra avoir la section d'une des tôles. Quand les

feuilles de tôle ne se superposent pas, on les réunit au moyen de *cornières* ou *fers d'angle* (fig. 42). Cette figure montre les couvre-joints d'une cornière; ces couvre-joints ont des ailes plus courtes que celles des cornières. Les sections d'après lesquelles on doit calculer la résistance sont celles des couvre-joints. Les trous des rivets sont percés dans les ailes des cornières à la moitié environ de leur hauteur mesurée du côté intérieur.

Par la réunion des différentes pièces de dimensions relativement petites que nous avons précédemment décrites, on arrive à constituer des poutres de très grandes portées et des formes les plus variées, ainsi que nous le verrons plus loin dans la description des différents ouvrages.

La figure 43 montre un exemple d'assemblage d'un longeron et d'une pièce de pont.

DESCRIPTION DES OUVRAGES

I. — CONSTRUCTIONS INDÉPENDANTES

§ 1er. — Dispositions usuelles des ponts.

A. — *Ouvrages supportant des voies de fer.*

TYPES POUR FAIBLES OUVERTURES

Dans la construction des lignes de chemins de fer, on a constamment à assurer l'écoulement des eaux, la traversée des chemins et des routes; aussi a-t-on à construire un nombre très considérable d'ouvrages d'art, de faibles dimensions en général. Les Compagnies de chemins de fer appliquent un certain nombre de types courants dont nous allons décrire quelques-uns tels qu'ils sont adoptés aujourd'hui.

Un premier type est celui dans lequel les poutres sont dites *à caisson*. Une semelle pleine ferme le profil par le bas. Le rail est supporté par une longrine qui repose sur les cornières de la

semelle inférieure. Ce type est employé pour les ouvrages de très faible ouverture, par exemple pour cours d'eau, passages pour piétons et pour bestiaux. La disposition avec poutres à caisson a l'avantage de n'exiger que peu de hauteur entre le dessous des poutres et le dessus des rails ; dans le cas qui nous occupe, cette hauteur, dite hauteur disponible, est de 0m,38. Mais ce mode de construction est critiqué pour divers motifs et est à éviter en pratique ; il vaut mieux avoir recours au troisième type décrit plus loin.

Dans un second type, les poutres sont placées sous les rails. Le rail, posé sur une longrine, est supporté directement par la poutre. Ce type est em-

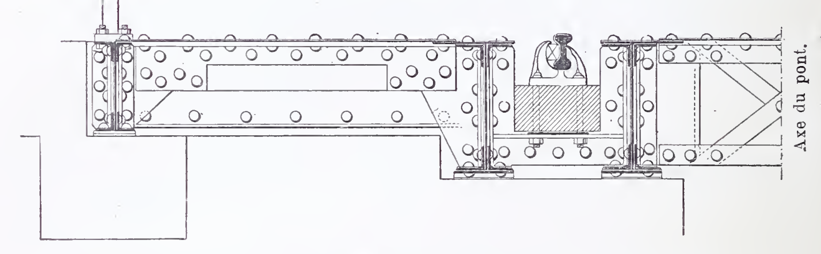


Fig. 44. — Pont avec poutres jumelles. (Demi-coupe transversale.)

ployé de préférence au précédent quand la hauteur entre le rail et la chaussée du chemin ou le niveau des eaux le permet.

Un troisième type (fig. 44), est dit avec *poutres jumelles* ; il présente le même avantage que le type avec poutres à caissons, en ce qui concerne la hauteur disponible, et lui est préférable au point de vue de la disposition de la voie. Notre exemple s'applique à un pont de 4 mètres d'ouverture pour une voie. La hauteur entre le dessus du rail et le dessous des poutres est de 0m,47, ce qui fait une différence en moins de 0m,298 sur l'exemple précédent. (Compagnie des chemins de fer de l'Ouest.)

Quand l'ouverture de l'ouvrage dépasse les dimensions courantes envisagées ci-dessus, on s'est servi encore de poutres à âme

pleine comme dans l'exemple (pont sur la Sarthe) que nous décrivons ci-après. Cependant, aujourd'hui, les poutres à âme pleine ne sont guère usitées que pour des portées n'excédant pas 15 mètres, de telle sorte que la largeur des tôles verticales n'excède pas $1^m,20$ ou $1^m,40$ au plus.

Quand les portées deviennent un peu grandes, on emploie des maîtresses poutres à parois évidées, à croisillons. C'est ainsi qu'a été établi le pont de 24 mètres d'ouverture que nous allons citer comme exemple (pont de Pontorson).

Pont sur la Sarthe. (1881). — Ce pont, établi pour deux voies, sur la ligne de Sillé-le-Guillaume à la Hutte, comprend



Fig. 45. — Pont sur la Sarthe (ligne de la Hutte à Sillé-le-Guillaume).

deux travées de 25 mètres d'ouverture chacune. Le tablier est constitué par quatre poutres principales à âme pleine de 2 mètres de hauteur (fig. 45). Des pièces de pont, placées à $0^m,275$ en contrebas de la semelle supérieure des poutres principales, relient ces dernières deux à deux et supportent des longerons. C'est sur ces derniers que reposent les rails par l'intermédiaire de longrines. Les pièces de pont sont supportées en leur milieu par deux contre-fiches venant s'assembler à la base des poutres ; les pieds des contre-fiches sont réunis par une entretoise horizontale formant tirant et empêchant ainsi l'écartement des poutres. Deux contreven-

tements horizontaux, en diagonales, sont disposés l'un au-dessous du tablier, l'autre au-dessous des entretoises.

Pont de Pontorson. — La ligne d'Avranches à Dol traverse près de Pontorson la ligne de Vitré à Fougères et un chemin latéral à cette dernière ligne. Cette traversée se fait au moyen d'un pont à une travée de 24 mètres d'ouverture à une voie, construit

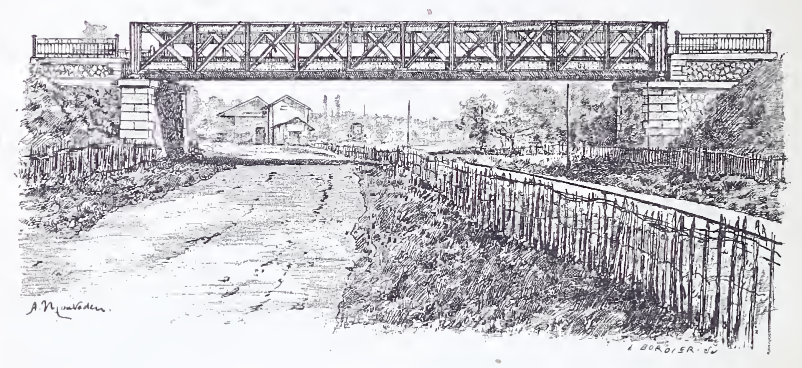


Fig. 46. — Pont de Pontorson (ligne d'Avranches à Dol).

en 1878. Les poutres du pont sont à treillis. La voie est placée à la partie inférieure des poutres; les rails reposent sur des longrines placées sur des longerons. La figure 46 représente l'ensemble de l'ouvrage.

TYPES POUR MOYENNES OU GRANDES OUVERTURES

1° Ponts à poutres pleines.

Les premiers ponts en tôle construits en France et en Angleterre avaient des poutres à parois latérales pleines.

Voie supérieure.

EN FRANCE

Ponts de Clichy et d'Asnières (1851-1853). — Les deux premiers ponts construits en France sont les ponts de Clichy et d'As-

nières, établis sous les lignes de l'Ouest : le premier, construit en 1851 par la maison Gouin sur la route d'Asnières, est extrêmement biais; la longueur biaise des poutres est de 23m,40.

Le pont d'Asnières, construit sur la Seine par la même maison de construction, en 1852-1853, sous la direction de M. Flachat, remplaçait un pont en bois. Le tablier métallique était établi pour quatre voies et compre-

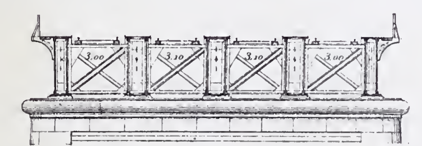


Fig. 47. — Pont d'Asnières.
(Coupe transversale.)

nait cinq travées d'environ 32 mètres d'ouverture chacune. Les voies sont placées entre les poutres et à leur partie supérieure. A l'origine, il était constitué par cinq poutres tubulaires, à sections rectangulaires et à parois pleines de 2m,30 de hauteur (fig. 47). Des poutrelles horizontales supportant les quatre voies étaient fortement reliées aux poutres au moyen d'équerres et de croix de Saint-André formées de fers en U, alternant avec des tirants horizontaux. Ce pont a subi de nombreuses modifications depuis sa construction.

Nous signalerons deux ponts à poutres pleines présentant cette particularité que la semelle inférieure est curviligne :

Le premier, à Paris (1865), sur l'avenue Daumesnil, construit sous le chemin de fer

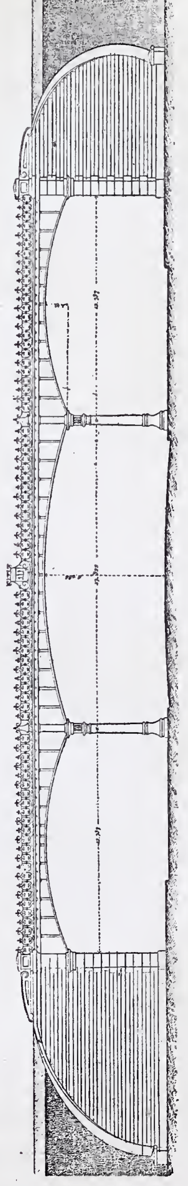


Fig. 48. — Pont de l'avenue Daumesnil, à Paris. (Élévation générale.)

de Ceinture, est d'ailleurs d'une ornementation très soignée. Il se compose de trois travées de $12^m,50$, $16^m,80$ et $12^m,50$ d'ouvertures biaises (fig. 48). Les poutres, au nombre de trois, sont continues et présentent l'aspect d'arcs surbaissés; leur hauteur se réduit, au milieu, à $0^m,76$ pour les poutres de rive et à $0^m,99$ pour la poutre centrale. Les pièces de pont sont obliques par rapport aux poutres; elles ont la forme d'un double T de $0^m,52$ de hauteur. Des croix de Saint-André contreventent les poutres. On a assourdi le bruit du passage des trains et obtenu l'étanchéité en constituant le plancher par un matelas en bois qui supporte des plaques courbes en fonte et tôle recouvertes d'une légère hauteur de ballast.

Le deuxième, dans le Wurtenberg, près de Mœkmulh, construit à une voie en 1869. Il a quatre travées de 33 mètres d'ouverture.

Voie inférieure.

1° EN FRANCE

Ponts d'Aiguillon et de Moissac (1856). — Deux autres ponts d'assez grande ouverture, à parois pleines, ont été construits dans

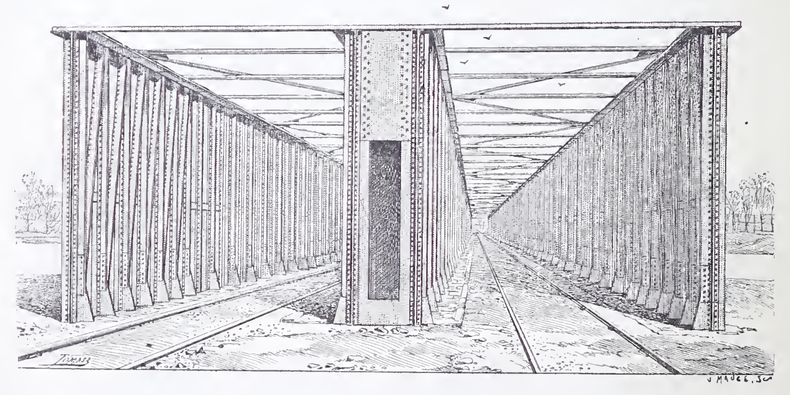


Fig. 49. — Pont sur le Tarn, à Moissac. (Vue intérieure.)

la vallée de la Garonne, celui d'Aiguillon, sur le Lot, et celui de Moissac sur le Tarn. Ils présentent une disposition différente des

précédents ponts en ce qui concerne l'emplacement des voies. Elles sont situées à la partie inférieure des poutres (fig. 49). Le pont sur le Tarn comprend cinq travées de 59 mètres d'ouverture moyenne; il se compose de deux compartiments indépendants, dans lesquels les voies sont placées à la base et qui, par conséquent, interceptent la vue (fig. 49); le dessus reste ouvert et comporte des entretoises ainsi que des croix de Saint-André pour relier les parois. Le poids est de 6,200 kilogrammes par mètre linéaire. (Ingénieur Debauge.)

2° A L'ÉTRANGER

Pont Britannia (1850). — Nous devons citer en premier lieu ce pont grandiose construit en Angleterre, sur le détroit de Menai,

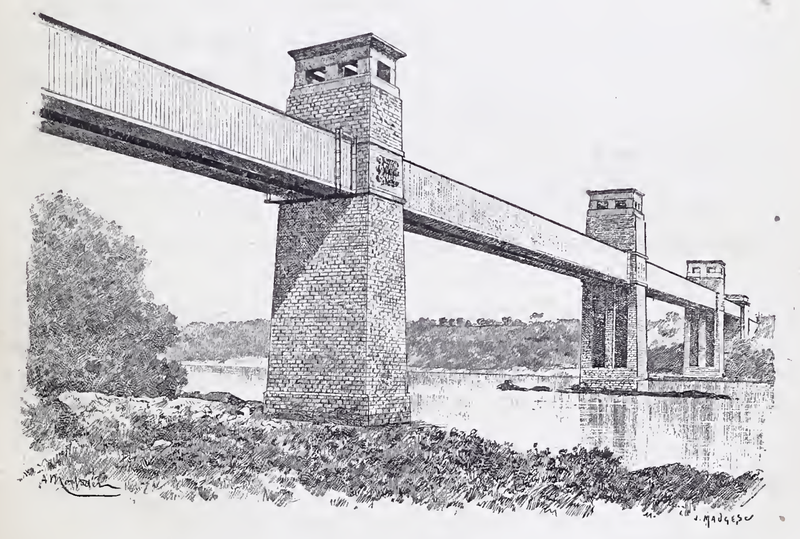


Fig. 50. — Pont Britannia, sur le détroit de Menai.

au nord-ouest du pays de Galles. C'est le premier essai d'une construction importante de ce genre. Il comprend quatre travées, dont deux de 70 mètres et deux de 140 mètres. La figure 50 donne

la vue de cet ouvrage et la figure 51 en reproduit les principaux éléments. Le pont est formé de deux tubes tout à fait indépendants, de forme rectangulaire, à parois pleines, de $7^{m},75$ de hauteur, dans lesquels passent les voies, à la partie inférieure. Les semelles de chaque tube, inférieure et supérieure, sont formées de cases rectangulaires au nombre de six pour la première et de huit pour la seconde. Les parois pleines sont raidies par des doubles cornières et des fers à T formant couvre-joints. Les poutres sont fixées sur la pile centrale; elles reposent sur les autres piles et sur les culées au moyen de rouleaux pour permettre la dilatation. Le poids par mètre courant, pour les deux voies, atteint 22,600 kilogrammes. C'est évidemment une trop grande quantité de métal. Ce pont est l'œuvre de Robert Stephenson.

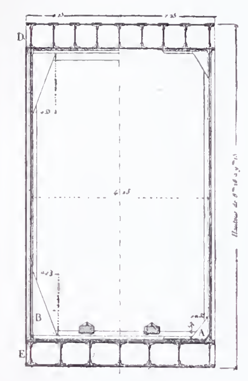


Fig. 51.
Pont Britannia.
(Coupe transversale.)

Pont de Conway. — Construit d'après le même principe que le précédent, c'est-à-dire avec deux poutres tubulaires, ce pont est très remarquable par sa portée et son aspect architectural; nous le citons à ce titre. Il ne présente qu'une seule travée de 122 mètres d'ouverture; elle est encadrée par deux tours gothiques qui rappellent les ruines du château de Conway. Le poids de la partie métallique est de 19,000 kilogrammes par mètre courant, poids inférieur à celui du pont Britannia.

Pont de Victoria sur le Saint-Laurent [1] (1859). — Le pont de Montréal, sur le Saint-Laurent, dit pont Victoria, est l'un des plus longs et des plus hardis qui existent, surtout lorsqu'on songe que sa construction, commencée en 1854 et terminée en 1859, remonte à une époque où les ponts métalliques étaient dans la période de début. Cet ouvrage a 2,790 mètres de longueur totale, dont

(1) Extrait du *Traité* de Morandière.

1,977 mètres avec superstructure métallique; celle-ci comporte une travée centrale de près de 100 mètres d'ouverture, et vingt-quatre travées dont l'ouverture varie de $72^{m},80$ à $75^{m},30$. Le pont est à une voie. Les travées sont imitées de celles du pont Britannia, mais la travée centrale a seule des caissons dans le haut. Les autres ont des bandes de fer à T soutenues par des entretoises supérieures en tôle. Les poutres ne sont pas continues; leur hauteur est de $5^{m},80$ pour les deux travées extrêmes et de $6^{m},86$ pour celles du milieu. Le poids par mètre de débouché est d'environ 6,000 kilogrammes. (Ingénieurs : Robert Stephenson et Hodges.)

Voie intermédiaire.

EN FRANCE

Pont de Langon (1855). Construit sur la Garonne, pour deux voies, ce pont est formé d'une travée centrale de $73^{m},40$ et de deux



Fig. 52. — Pont de Langon. (Élévation.)

travées latérales de $62^{m},87$ (fig. 52). C'est encore une disposition différente des précédentes en ce qui concerne l'emplacement des voies. Elles sont situées presque au milieu de la hauteur des poutres. Le pont est constitué par deux grandes poutres latérales pleines ayant $5^{m},30$ de hauteur; elles sont reliées entre elles par des pièces de pont au milieu de la hauteur de la travée. Ces pièces de pont sont rattachées par des goussets à l'âme des poutres et sont soutenues en leur milieu par deux jambes de force obliques. Le bas des deux poutres est relié par une entretoise horizontale. Le haut, en raison de la faible hauteur des semelles supérieures au-dessus de la voie, n'est pas contreventé. Le poids de la superstructure par mètre linéaire a été de 4,420 kilogrammes.

Outre les ponts à parois pleines précédemment décrits, nous pourrions en citer d'autres construits il y a un certain nombre d'années. Mais on a reconnu leurs inconvénients, notamment l'interception de la vue, le bruit, l'action du vent. Aussi les a-t-on abandonnés et remplacés par des ponts à parois évidées.

2° Ponts à poutres à croisillons.

Voie inférieure avec contreventement au-dessus de la voie.

1° EN FRANCE

Pont de Bordeaux (1860). — Ce pont, construit pour deux voies, sur la Garonne, est un des premiers exemples de poutres à parois évidées. Il se compose de sept grandes travées, dont les deux extrêmes ont $55^m,56$ et les cinq intermédiaires $73^m,46$ d'ouverture nette. Il est précédé d'une série de petites travées en tôle de 129 mètres de longueur totale. Les grandes poutres, de $6^m,35$ de hauteur, sont formées de croix de Saint-André avec montants verticaux; une passerelle a été établie sur l'un des côtés du pont. Le poids par mètre courant est de 5,831 kilogrammes. L'aspect du pont est un peu lourd. Il a coûté 3,265,000 francs.

Pont de Lorient (1862). — Le pont de Lorient sur le Scorff, pour deux voies, a une travée centrale de $64^m,34$ d'ouverture et deux travées de $51^m,92$. A signaler que les poutres, au nombre de deux, sont formées chacune de deux parois à treillis, constituées par des lames plates et reliées entre elles par des barres inclinées.

Cette disposition donne, d'après certains ingénieurs, beaucoup de stabilité aux poutres, plus de raideur aux semelles et une meilleure répartition de la pression sur ces dernières. Ajoutons que l'on a supprimé les montants verticaux. Le poids par mètre linéaire est de 4,718 kilogrammes.

Pont de Conflans (1877). — Le chemin de fer de Pontoise à Dieppe, à deux voies, traverse la Seine au moyen d'un grand pont, composé de quatre travées continues, dont deux de 50 mètres et

deux de 42 mètres d'ouverture, et d'un petit pont accolé de 7 mètres d'ouverture.

Chaque travée du grand pont se compose essentiellement de deux poutres principales dont l'âme est un treillis simple à grandes mailles, excepté au-dessous des points d'appui où elle est pleine.

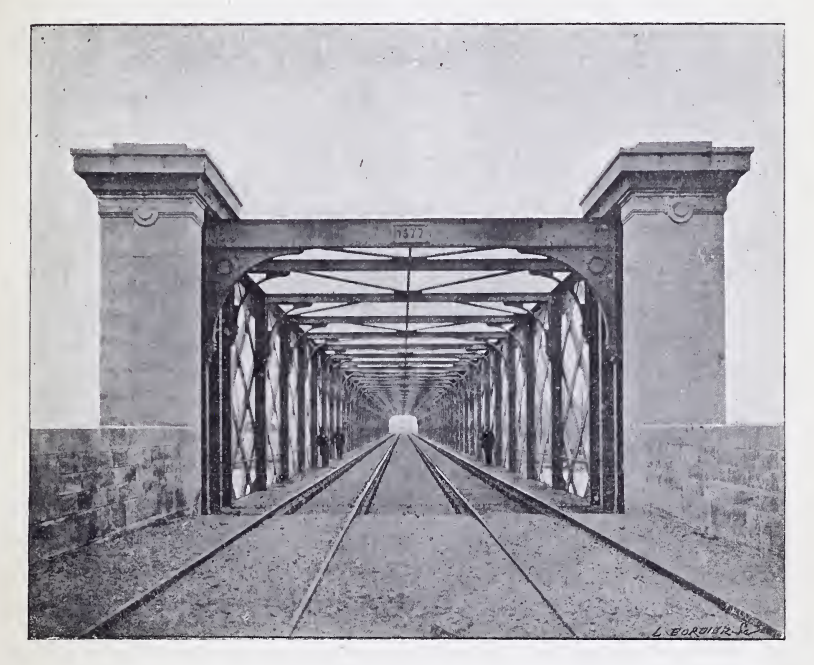


Fig. 53. — Viaduc sur la Seine, à Conflans. (Vue intérieure du tablier.)

Les poutres ont $6^{m},40$ de hauteur. La voie est placée sur des pièces de pont correspondant avec des montants verticaux au droit desquels les poutres sont reliées, à leur partie supérieure, par des entretoises pleines. Ces entretoises sont terminées par des consoles qui donnent à la perspective longitudinale du pont un aspect plus satisfaisant (fig. 53). Un contreventement horizontal, en diagonales, existe au-dessous et au-dessus du tablier. Sous chaque file

de rails se trouvent des longerons qui s'appuient sur les pièces de pont. Des solives en fer à double T, allant d'une poutre à l'autre, sont disposées transversalement aux longerons sur lesquels elles reposent, et supportent les longrines. La surface supérieure du plancher est recouverte, pour la circulation, par de la tôle striée. Nous signalerons comme particularité nouvelle que, dans cet ouvrage, pour atténuer les conséquences d'un déraillement, le plancher en fer est impénétrable, les solives très rapprochées s'opposant au défoncement de la tôle striée. Le poids par mètre courant est de 4,537 kilogrammes. (Compagnie des chemins de fer de l'Ouest. — Constructeur : maison Joly.)

Viaduc sur la Maine (1877). — Le viaduc, à deux voies, d'Angers, se compose de deux travées de 60 mètres d'ouverture. Les poutres principales de 6^{m},70 de hauteur, sont du type à treillis à grandes mailles et à âme double, sans montants verticaux (fig. 6). Elles portent les voies, à leur partie inférieure, au moyen de longerons et de pièces de pont à âme pleine de 1 mètre de hauteur, espacées entre elles de 2^{m},208 ; elles sont reliées, à leur partie supérieure, par des poutrelles en treillis de 0^{m},50 de hauteur, espacées de 4^{m},416. Deux étages de contrevents obliques placés, l'un au-dessous des pièces de pont, l'autre au-dessus des entretoises supérieures, assurent la rigidité transversale du tablier. Les barres du treillis sont inclinées à 45° ; celles qui sont comprimées ont la forme d'un double T dont l'âme est composée par un treillis léger; les autres se composent de deux fers plats embrassant les barres comprimées. Les appuis du tablier sont fixes sur la pile et mobiles sur les culées. Le plancher est en madriers de chêne de 0^{m},08 d'épaisseur, sans ballast. Le poids du mètre courant de la partie métallique, y compris les plaques d'appui et les rouleaux de dilatation, qui pèsent 25,230 kilogrammes, est de 5,070 kilogrammes.

Viaduc de la Fontaine des Eaux minérales, près de Dinan (1879). — La ligne de Dol à Lamballe franchit le ravin de la Fontaine des Eaux minérales, entre Dinan et la Rance, au moyen d'un viaduc dont une partie a servi d'avant-bec pour le lançage du pont

sur la Rance dont il est question page 144. Ce viaduc a été construit pour deux voies et mis en service en 1879 ; mais la deuxième voie n'a été livrée qu'en 1887, pour le passage de la ligne de Dinan à Dinard. Il se compose de trois travées continues de 50, de 62 et de 50 mètres de portée entre les axes des appuis.

Nous retrouverons, sans modifications importantes, le type du tablier de ce viaduc dans celui du viaduc de la Souleuvre.

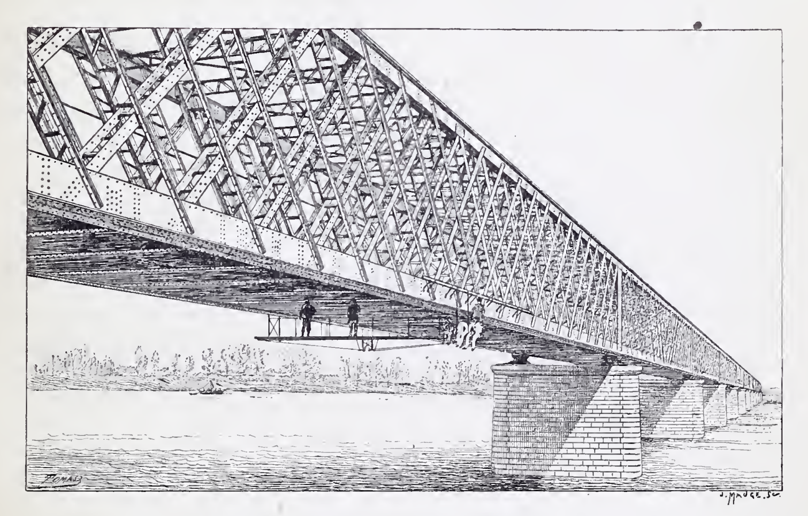


Fig. 54. — Pont de Saumur. — Vue d'un échafaudage volant.

Pont de Saumur (1886). — Un grand pont a été construit sur la Loire, près de Saumur, pour deux voies de fer. Il a une longueur totale de 1,052 mètres et se compose de quatorze travées de 75 mètres d'axe en axe des piles (fig. 54). Les poutres principales, de $7^{m},60$ de hauteur, sont en treillis, à grandes mailles, sans montants verticaux, à âme double ; elles sont écartées de $8^{m},66$ d'axe en axe. Le plancher est en tôle striée ; les supports sont à charnières.

Le pont a été entièrement construit sur place ; à cet effet, on a élevé, sur la rive droite de la Loire, un atelier capable de travailler mensuellement 500 tonnes de fer.

Le poids de la superstructure métallique est de 6,000 kilogrammes par mètre courant; la dépense totale s'est élevée à près de cinq millions de francs.

La figure donne la vue d'une partie du pont; elle montre l'installation d'un système d'échafaudage volant, type Sciaifle, pour la visite et les réparations des ponts. (MM. Fargaudie, inspecteur général des ponts et chaussées; Prompt, Tresca et Parent, ingénieurs. — Usine Cail, constructeur.)

Viaduc de la Souleuvre (1886). (Ligne de Vire à Saint-Lô). — Ce viaduc présente, entre les axes des appuis sur les culées, une portée totale de 348 mètres qui se décompose en deux travées extrêmes de 50 mètres et quatre travées centrales de 62 mètres. Les deux piles, qui s'élèvent jusqu'à $61^{m},47$ de hauteur au-dessus du sol sont les plus élevées des constructions similaires en maçonnerie.

Le tablier, pour voie unique, est formé de deux poutres principales, à travées solidaires, de $6^{m},62$ de hauteur, à treillis (fig. 55). Le treillis est composé de barres constituées par deux cornières adossées d'échantillon variable. De 4 mètres en 4 mètres, des montants verticaux en treillis assurent la rigidité du système et forment, avec les entretoises inférieures et supérieures, des cadres invariables. Les entretoises inférieures servent d'appui à des longerons placés sous les rails. Un plancher général, en tôle lisse de 8 millimètres d'épaisseur, est établi au-dessus des entretoises et des longerons et s'assemble avec les âmes inférieures des membrures des grandes poutres.

Enfin, le contreventement supérieur comprend, outre les entretoises à treillis, assemblées avec les montants, des diagonales en U, soutenues en leur milieu par un petit longeron en T, porté par les entretoises.

L'installation de la voie à la partie inférieure du tablier entraîne une augmentation dans la hauteur des piles, mais elle offre beaucoup plus de sécurité en cas de déraillement. L'ouvrage est construit pour une voie; néanmoins, l'écartement des poutres est de

$0^m,20$ d'axe en axe; cette largeur, qui caractérise le viaduc, est justifiée par la nécessité de donner au tablier une capacité de résistance suffisante contre les vents violents auxquels il peut être exposé.

Le tablier est disposé de telle sorte qu'il sera facile de l'aménager pour deux voies; mais elles seront alors reportées à la partie supérieure.



Fig. 55. — Viaduc de la Souleuvre. (Vue intérieure du tablier.)

La dépense totale de l'ouvrage s'est élevée à 1,644,000 francs. (Compagnie de l'Ouest, MM. Clerc, directeur des travaux; Moïse, ingénieur en chef; Rabut, ingénieur.)

Viaduc de Saint-André de Cubzac (1886). — Cet ouvrage très important, construit sur la Dordogne pour les deux voies de la ligne de Cavignac à Bordeaux, a une longueur totale de $2,175^m,43$

dont 1,450^{m},11 de travées métalliques se décomposant ainsi, en partant de la rive droite :

Viaduc de la rive droite.	1	travée d'axe en axe.	44^{m},78	291^{m},68	1450^{m},11
	5	— —	44^{m},98		
Pont sur la rivière.	1	— —	60^{m},00	561^{m},60	
	6	— —	73^{m},60		
	1	— —	60^{m},00		
Viaduc de la rive gauche	13	— —	44^{m},98	596^{m},83	
	50	arches en pierre. .	14^{m},50		725^{m},32

Les piles du pont en rivière, au nombre de sept, sont en métal sur 16^{m} 13 de hauteur. La hauteur libre au-dessus de l'étiage est de 21^{m},80. Les piles métalliques sont composées chacune de six arbalétriers, réunis par des croisillons et des entretoises, et forment un rectangle de 8^{m},40 sur 2^{m},10. A la partie supérieure, les appuis du tablier sont supportés par un couronnement en tôle. Les poutres principales sont à double paroi verticale à treillis, à grandes mailles sans montants verticaux (fig. 56); elles portent les voies à leur partie inférieure et sont contreventées, à leur partie supérieure, par des croix de Saint-André formant treillis à deux mailles. Le plancher est en tôle striée.

Dans les travées des viaducs d'accès, la voie est à la partie supérieure (fig. 56) ; les poutres sont formées de panneaux avec croix de Saint-André ; elles sont au nombre de trois. Les travées de la rive gauche sont en courbe de 1,500 mètres de rayon, et ce fait a eu de l'influence sur les conditions de leur exécution. Ainsi le poids par mètre courant d'ouverture est pour les travées de rive droite de 3,700 kilogrammes tandis qu'il est de 4,700 kilogrammes pour celles de rive gauche. Pour les grandes travées, il est de 6,000 kilogrammes.

Pour le montage des grandes travées, deux chantiers ont été formés, l'un sur la rive droite et l'autre sur la rive gauche. La mise en place a été opérée par lançage, la jonction des deux parties lancées s'opérant sur la pile centrale. Pour ce lançage qui a présenté des difficultés sérieuses on a adopté les dispositions nouvelles suivantes :

On a employé des supports de galets de lançage, à double oscillation, dans le but de répartir également les charges sur quatre galets placés sous les deux âmes de la poutre, les axes de ces galets étant en prolongement. La manœuvre des leviers de lançage s'est faite au moyen d'un moteur à vapeur installé sur le tablier. Enfin, on a employé des butoirs rivés sur la tête des arbalétriers des piles, afin d'empêcher la chute du tablier, par suite d'un déplacement latéral s'il venait à être occasionné par le vent ou par toute autre cause.

La figure 56 montre le dispositif d'un appareil de visite installé sur une des grandes travées. (MM. Fargaudie et Lancelin, inspecteurs généraux; M. Prompt, ingénieur en chef. — Usine de Creil et Cie, de Fives-Lille, constructeurs.)

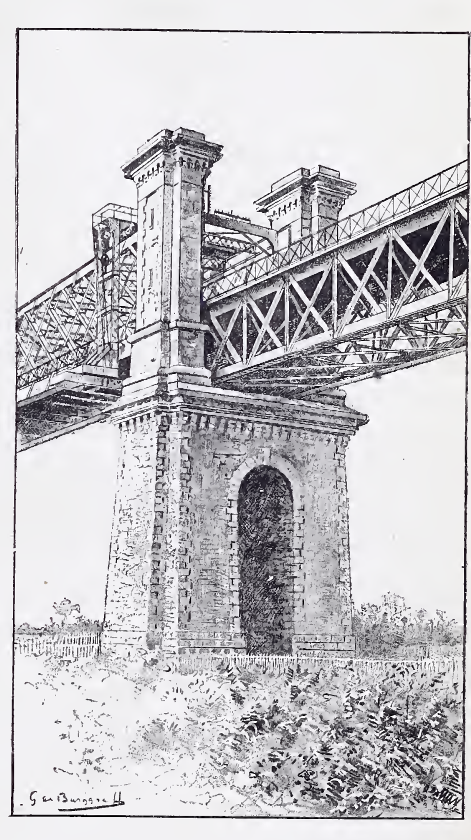


Fig. 56. — Viaduc de Saint-André-de-Cubzac. (Pile-culée.)

Pont du Manoir. — Le pont du Manoir, livré à la circulation en mai 1893, a été construit sur la Seine en remplacement du pont en arcs, en fonte, dont nous avons parlé précédemment. Diverses considérations ont conduit à construire le nouveau pont à côté de l'ancien. La figure 58 montre le pont pendant

la dernière opération du lançage. Il est à poutres droites et à voie inférieure; cette disposition des voies était commandée par le peu de hauteur libre dont on disposait.

Le tablier métallique, d'une longueur totale de 209^{m},410, à double voie, comporte une travée intermédiaire de 66^{m},75 et deux travées de rive de 68^{m},975 et de 71^{m},20. Il présente deux poutres continues principales de 8 mètres de hauteur, à âme double, distantes de 9 mètres d'axe en axe. Le treillis est sextuple, avec renfort vertical aux sommets, de deux en deux. La figure 43 donne la coupe transversale et la coupe horizontale partielles du tablier et montre la constitution des pièces et leur assemblage.

Les poutres supportent les voies par l'intermédiaire de longerons et de pièces de pont de 1 mètre de hauteur. Chaque pièce de pont est la base d'un cadre vertical complété par les deux renforts en treillis, qui relient et raidissent les deux moitiés de chaque grande poutre, et par une entretoise supérieure de 0^{m},55 de hauteur portant sur des consoles assemblées avec les montants. Le contreventement supérieur est complété par des diagonales en fers cornières. Le plancher du pont, qui est formé de tôles lisses de 0^{m},008 d'épaisseur, rivées sur les longerons et sur les pièces de pont, constitue un entretoisement énergique.

Les longerons s'appuient par leur partie inférieure sur les cornières-nervures des pièces de pont; leur partie supérieure affleure les semelles de ces dernières pièces. Indépendamment de l'attache verticale des longerons avec les pièces de pont, la continuité des longerons est réalisée par le plancher en tôle et par des files de plates-bandes en fer prenant leur attache sur deux longerons consécutifs et sur la pièce de pont de jonction. En outre, à leur partie inférieure, les longerons sont munis de goussets horizontaux en tôle qui les relient aux semelles inférieures des pièces de pont. Ces attaches horizontales brident les longerons entre eux, à leur partie supérieure et à leur partie inférieure, et font de ces files de pièces de véritables poutres continues.

La voie, en rails d'acier de 43 kilogrammes, porte sur les lon-

gerons par l'intermédiaire de longrines en chêne fixées au moyen de cornières longitudinales et d'étriers.

Les conditions de travail du métal satisfont aux prescriptions du règlement du 29 août 1891 dans toutes les hypothèses admises

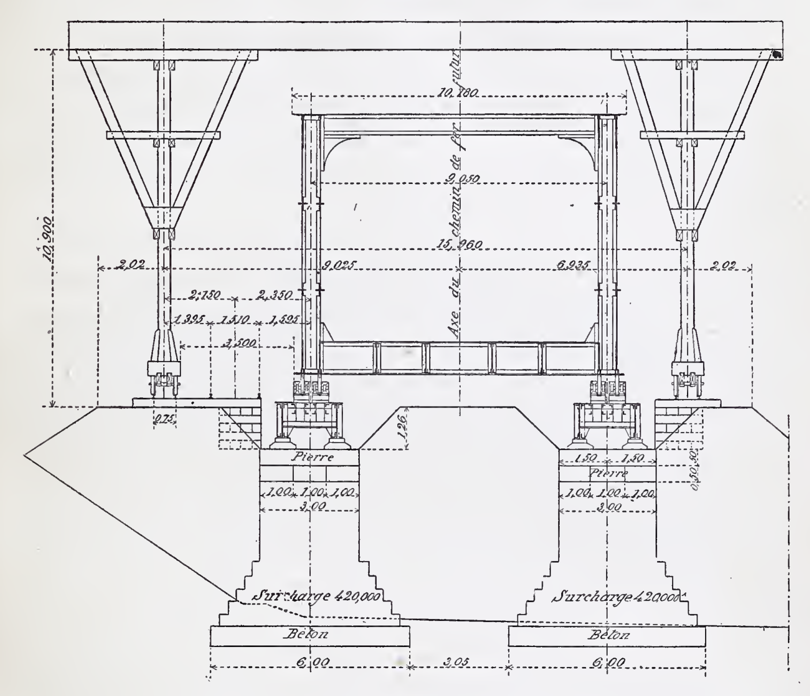


Fig. 57. — Pont du Manoir, sur la Seine.
(Coupe au droit des piliers pendant le montage.)

de surcharges et d'action du vent. C'est le premier grand ouvrage qui ait été construit d'après les données de ce règlement.

Le poids total de la partie métallique est de 1,880 tonnes, soit 8,900 kilogrammes par mètre linéaire.

Le tablier a été mis en place par lançage. Les efforts prévus pour la période du lançage auraient pu être notablement dépassés et le succès de l'opération compromis, si les galets de roulement

n'avaient été maintenus à un niveau sensiblement invariable; on ne pouvait donc songer à les poser simplement sur les terrassements de la plate-forme de montage et il a fallu les supporter par des massifs en maçonnerie brute (fig. 57) répartissant convenablement la pression transmise au sol naturel.

Voici le procédé adopté pour le montage et le lançage :

La longueur de plate-forme dont on disposait ne permettait que le montage d'une partie du tablier. Deux grues roulantes à treuil disposées sur des voies de chantier (fig. 57) servaient au levage et à l'approche des lourdes pièces ou tronçons de pièces qui arrivaient tout préparés à pied-d'œuvre.

Un avant-bec de 29 mètres de longueur de forme ordinaire, c'est-à-dire en forme de sifflet, devant faciliter l'abordage des appuis en rivière et destiné à alléger le plus possible la partie antérieure du tablier, a tout d'abord été installé. Puis, à la suite de cet appendice, on a monté la moitié environ du tablier proprement dit. Avant de procéder au lançage de la première partie, il a été fait, sur la plate-forme, des épreuves ayant pour objet de constater que dans la période la plus défavorable du lançage, c'est-à-dire lorsque l'avant-bec va atteindre le premier appui en rivière (à ce moment, son extrémité est en porte-à-faux de $71^{m},20$), la flèche prise par cet avant-bec ne dépassait pas les prévisions établies par le calcul. Pour éviter qu'alors le travail des membrures verticales, dans la partie portant sur les galets de roulement, ne fût excessif, on a ajouté des montants provisoires au milieu des panneaux voisins du point d'appui.

Cette épreuve ayant donné d'excellents résultats, on a commencé à lancer la partie déjà montée pour permettre de continuer, à l'arrière, le montage de nouveaux tronçons et de nouvelles pièces.

On a procédé par lançages partiels au fur et à mesure du montage à l'arrière. L'opération se faisait au moyen de deux treuils de traction. Nous devons signaler cette particularité que l'on s'est servi de câbles en chanvre de 60 millimètres de diamètre au lieu

des chaînes généralement usitées en pareil cas. Ces câbles avaient été fabriqués spécialement pour le lançage, et cela avec du chanvre de la meilleure qualité. Dans les essais faits à l'usine, des bouts prélevés sur ces câbles avaient résisté à un effort de traction égal à 15,000 fois le poids du mètre courant, qui est de 2^{kg},300 environ. Ils ne s'étaient rompus que sous une charge de près de 35,000 kilo-

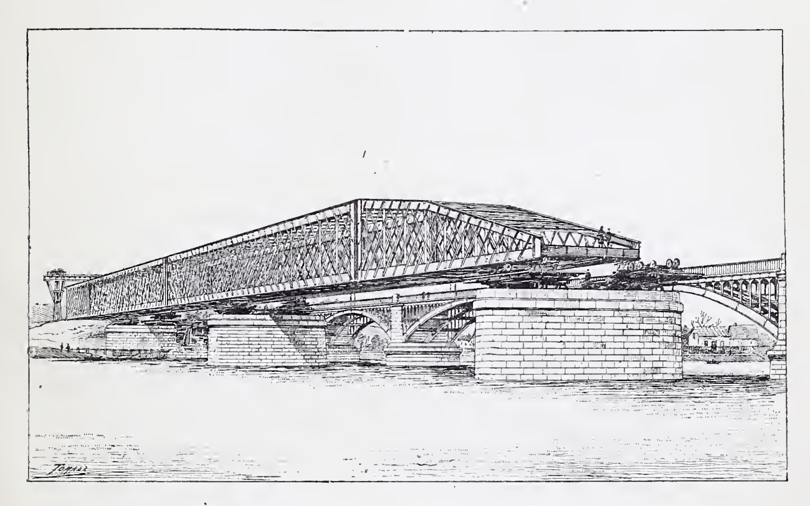


Fig. 58. — Pont du Manoir, sur la Seine. (Vue pendant le lançage.)

grammes. Une chaîne métallique de résistance équivalente eût pesé 26 à 28 kilogrammes le mètre courant.

Les deux treuils avaient chacun deux tambours horizontaux superposés, à quatre manivelles auxquelles pouvaient s'atteler 16 hommes. L'un des treuils était fixé sur une estacade butant contre la culée de la rive où s'opérait le montage; l'autre, placé sur le plancher de l'ouvrage, immédiatement au-dessus de la moufle fixée à l'une des pièces de pont, était solidaire du tablier. Ces deux treuils et la moufle étaient disposés dans l'axe longitudinal du tablier. La manœuvre simultanée de ces deux treuils, qui agissaient sur les mêmes câbles passant sur la moufle d'attache, avait pour

effet de réduire la distance comprise entre les deux appareils et de pousser l'ouvrage en avant.

Les équipages de galets étaient montés sur des balanciers à rotules (fig. 59). Pour que la répartition des charges s'effectuât d'une manière uniforme sur tous les galets, on avait intercalé, entre les patins des supports et les balanciers, des rondelles d'acier ou ressorts Belleville qui fléchissaient à la demande des efforts à supporter. Tous les galets groupés par 10 ou par 6, suivant les charges sur chacun des piliers, étaient disposés de façon à ne porter que sous la partie de semelle immédiatement placée au-dessous des âmes des poutres.

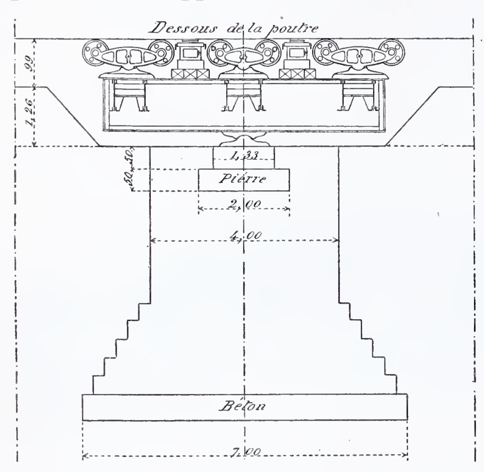


Fig. 59. — Pont du Manoir, sur la Seine. (Élévation d'un appareil de roulage.)

La vitesse atteinte a été de 10 mètres à l'heure pour les premiers lançages partiels et de $7^{m},50$ pour le dernier. Le poids à rouler pour cette dernière phase comprenait la totalité du tablier et l'avant-bec, soit environ 1,900,000 kilogrammes.

Le lançage terminé, on a calé provisoirement le tablier sur les piles et sur les culées au moyen de pièces de bois pour permettre l'enlèvement des galets-supports et balanciers de lançage. On a ensuite mis en place les appareils d'appui définitifs (fig. 204), composés de rotules en acier avec sabots en fonte et rouleaux de dilatation pour l'une des piles et les culées, et de rotules et sabots en fonte pour les appuis fixes de la deuxième pile. Puis on a décalé le pont en le soutenant au moyen de vérins et on l'a fait descendre sur ses appuis définitifs.

Les travaux de construction du pont ont duré dix mois.

Lors des épreuves des travées, la flèche maxima des poutres, observée sous le passage, à la vitesse de 35 kilomètres à l'heure, du plus lourd train d'épreuve (il était composé de quatre machines-tenders pesant 41,600 kilogrammes chacune et de dix-sept wagons pesant 15.500 kilogrammes chacun, le tout occupant, entre essieux extrêmes, une longueur de 130^{m},87), a été de 18 millimètres. (Compagnie de l'Ouest : Directeur des travaux, M. Clerc; ingénieur en chef, M. Morlière. — Constructeur, maison Jolly.)

2° À L'ÉTRANGER

Pont de Kehl (1861). — Le pont de Kehl, sur le Rhin, est à deux voies et se compose de trois travées fixes de 56 mètres d'ouverture chacune et, sur chaque rive, d'une travée mobile de 26 mètres de largeur libre.

Chaque travée fixe est formée de trois poutres en treillis, avec renforts verticaux de 6 mètres de hauteur, contreventés fortement à la partie inférieure et à la partie supérieure.

Les doubles travées tournantes ont 70 mètres de longueur et leurs poutres sont en forme de solide d'égale résistance.

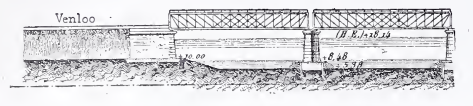
Les travées fixes ont été détruites en 1871, pendant la guerre franco-prussienne ; le pont avait été concédé à la Compagnie des chemins de fer de l'Est.

Pont de Venloo (sur la Meuse). — Ce pont est formé de deux tabliers construits sur les mêmes appuis.

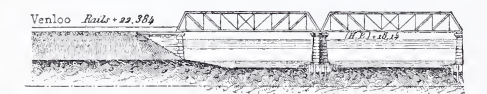
Ils sont composés tous les deux de quatre travées indépendantes de 55^{m},50 de portée (fig. 60).

Le premier a été construit en 1865. Les poutres sont du type à tirants et diagonales et du second ordre, c'est-à-dire que chaque diagonale traverse deux panneaux ; les diagonales sont croisées dans la partie centrale. La hauteur des poutres est de 7 mètres. Le pont est établi pour une voie de fer et une voie charretière. Le poids par mètre courant est de 3,293 kilogrammes.

Le second, terminé en 1885, est à deux voies. Les poutres sont du premier ordre, les diagonales ne traversant qu'un panneau ; leur hauteur est de $7^m,20$. Le poids par mètre courant est de 5,490 kilogrammes.



Tablier construit en 1865.



Tablier construit en 1885.

Fig. 60. — Pont sur la Meuse, à Venloo. (Demi-élévation.)

Les élévations (fig. 61) montrent les différences apportées dans l'espace de vingt ans au système de construction, parmi lesquelles il faut signaler l'augmentation de la largeur des poutres et de la hauteur des pièces de pont et la forme en sifflet donnée aux extrémités des poutres.

Pont de Semlin (1884). — Le chemin de fer de Semlin à Belgrade franchit la Save, rivière qui sépare la Hongrie de la Serbie, au moyen d'un pont d'une longueur totale de 462 mètres, composé de cinq travées dont trois centrales de $96^m,60$ et deux de rive de $86^m,10$ de portée.

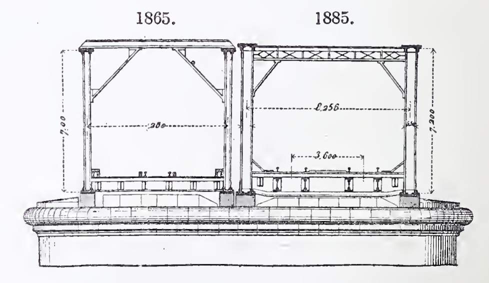


Fig. 61. — Pont sur la Meuse, à Venloo. (Coupes transversales.)

Les poutres sont continues; elles ont $8^m,40$ de hauteur en dehors des cornières. Elles sont formées par un treillis à larges mailles, avec montants verticaux espacés de $4^m,10$ environ. Leur écartement d'axe en axe est de 5 mètres. La hauteur disponible entre le dessus des rails et le dessous des poutres est de 1 mètre. La hauteur libre au-dessus de l'eau est de $6^m,80$.

Le poids des tôles et fers par mètre courant d'ouverture est

de 4,000 kilogrammes environ ; le prix de l'ouvrage s'est élevé à 3,600,000 francs. (Société de Fives-Lille.)

Pont de Neusatz. — La ligne de Pesth à Belgrade traverse le Danube à Neusatz sur un pont de 428 mètres de longueur d'axe en axe des supports extrêmes, en cinq travées, dont trois travées centrales de 92 mètres, et deux travées de rive de 76 mètres de portée.

Le pont ressemble à celui de Semlin, sauf dans les extrémités des poutres, où se remarquent des diagonales supplémentaires ; le pont porte aussi, en plus, un trottoir établi sur consoles. (Société de Fives-Lille.)

Pont Dufferin (1887), à Bénarès. — Le pont Dufferin, sur le Gange, à Bénarès (Inde anglaise), établi pour voie unique de $1^{m},67$, a une longueur totale de $1,074^{m},52$, comprenant sept travées de $108^{m},58$ d'ouverture et neuf travées d'approche de $34^{m},74$.

Une voie charretière est ménagée au niveau des rails ; un trottoir en encorbellement règne de chaque côté du pont.

Toute la partie métallique est en acier.

Les grandes poutres de $10^{m},78$ de hauteur sont à triple triangulation, avec diagonales tendues et semelles parallèles rectilignes ; les diagonales sont croisées dans la partie centrale de chaque travée. Le poids par mètre courant des grandes travées est de 6,900 kilogrammes.

La voie est à la partie supérieure des poutres pour le viaduc d'accès. (Ingénieurs, MM. Hederstedt, Batho et Barlow.)

Pont de Ben-Luc (Cochinchine). — Ce pont, servant à la ligne du chemin de fer de Saïgon à Mytho, a une longueur de 516 mètres ; il repose sur dix piles en pieux à vis et quatre en maçonnerie. Le procédé de montage en porte-à-faux a été employé à cet ouvrage qui pèse, piles comprises, environ 2,100,000 kilogrammes. (Eiffel.)

Voie inférieure sans contreventement au-dessus de la voie.

EN FRANCE

Tous les ponts avec voie en dessous, précédemment décrits, sont contreventés à la partie supérieure. Il en existe d'autres qui ne le sont pas ; ce sont généralement des ponts à travées de portées moyennes qui ne nécessitent pas une hauteur de poutres suffisante pour permettre l'entretoisement au sommet.

Tels sont les ponts d'Argenteuil, d'Orival sur la Seine, et de Compiègne sur la vallée de l'Oise.

Pont d'Argenteuil (1863). — La longueur du pont d'Argenteuil est de 198 mètres, divisée en cinq travées dont deux de rive

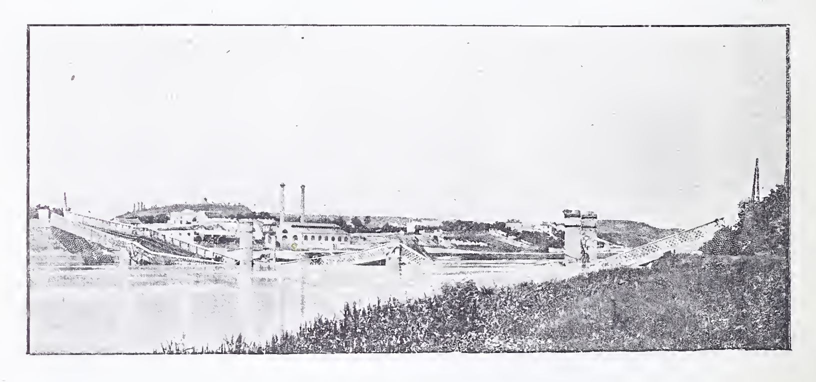


Fig. 62. — Pont d'Argenteuil. — Vue du pont détruit.

de 30 mètres chacune et trois intermédiaires de 40 mètres. Le pont est à deux voies, placées à la partie inférieure des poutres. Il repose sur des piles tubulaires en fonte. Ainsi qu'on le voit dans la figure 62 qui représente le pont après sa démolition pendant la guerre de 1870, les poutres continues sont à treillis, à petites mailles. Le poids du tablier était de 4,400 kilogrammes par mètre linéaire de débouché.

Ce pont a été reconstruit plus tard sur les mêmes données que l'ancien.

Pont de Compiègne (1880). — La ligne d'Amiens à la vallée de l'Ourcq franchit la vallée de l'Oise sur un pont biais à trois travées de 42m,33, 38m,62 et 36m,41 de longueur.

Ce pont est à deux voies et se compose de trois poutres principales de 3 mètres de hauteur, espacées de 4m,762 d'axe en axe (fig. 63). Les voies sont à la partie inférieure des poutres. Un contreventement en fers plats règne sous l'ensemble du tablier. Les poutres de rive sont à treillis; la poutre centrale est à âme pleine, parce qu'elle a à supporter les efforts les plus considérables.

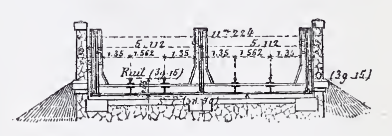


Fig. 63. — Pont de Compiègne. (Coupe transversale.)

On a procédé à la construction du pont par montages partiels et avançages successifs, et on s'est servi de chevalets d'appui supportés par des bateaux qui se déplaçaient selon l'avancement des poutres.

Voie supérieure.

1° EN FRANCE

Viaducs de la ligne de Commentry à Gannat. — Plusieurs viaducs existent sur cette ligne, parmi lesquels ceux de la Bouble, du Bellon, de la Sioule et de Neuvial, situés à des hauteurs de 66 mètres, 48m,50, 58m,80, 44 mètres au-dessus du fond des vallées. (Compagnie d'Orléans, MM. Didion et Thirion, Nordling, Delom et Geoffroy, ingénieurs.)

Viaduc de la Bouble (1870). — Ce viaduc comprend six travées de 50 mètres d'ouverture, supportées par cinq piles métalliques. La hauteur des plus grandes piles est de 57m,50. Chaque pile est formée de quatre colonnes en fonte divisées par étages et reliées à chacun d'eux par des croix de Saint-André en plan et en élévation (fig. 64). Les colonnes sont consolidées à leur partie

inférieure par des arcs-boutants formant empattement. Au centre des piles se trouve une colonne en fonte pour soutenir les contrevents horizontaux ; elle porte une échelle en hélice.

Les poutres du tablier sont à treillis avec montants verticaux.

La partie métallique d'une grande pile a coûté 88,000 francs environ. L'ensemble du viaduc est revenu à 1,100,000 francs. (Usines Cail et Compagnie de Fives-Lille.)

Viaduc du Bellon (1870). — Le viaduc comprend une travée centrale de 48 mètres de portée et deux travées de 40 mètres. Il est analogue au viaduc de la Bouble, mais les piles n'ont pas d'arcs-boutants à leur base. (Usines Cail et Compagnie de Fives-Lille.)

Viaduc de la Sioule (1869). — Le viaduc de la Sioule a une longueur de 162 mètres, divisée en trois travées reposant sur deux piles dont la plus élevée a 51 mètres de hauteur. Ces piles sont constituées par des colonnes en fonte réunies par des entretoises en fer. On a imaginé, à cette occasion, d'insérer dans la fonte, pendant la coulée, les goussets en fer sur lesquels se fixaient les entretoisements ; ce mode d'insertion réussit parfaitement et supprima les difficultés présentées par le système habituel de liaison qui consistait à river les barres du contreventement sur des nervures ménagées aux colonnes de fonte.

C'est pour le lançage du viaduc de la Sioule que l'on a employé pour la première fois des châssis à bascule destinés à porter les galets roulants. (Maison Eiffel.)

Viaduc du Val-Saint-Léger (près de Saint-Germain-en-Laye, 1880). — Le tablier métallique, de 258 mètres de longueur totale, est divisé en quatre travées continues, dont deux centrales de $71^{m},25$ et deux extrêmes de $57^{m},665$ de longueur (fig. 65). Les poutres, au nombre de quatre, sont à treillis, à petites mailles, avec montants verticaux ; leur hauteur est de $5^{m},66$. Les files de rails des deux voies sont posées dans l'axe des poutres ; le plancher est en tôle striée. La figure 5 montre la façon dont les poutres sont entretoisées et contreventées. Le viaduc est en pente de $0^{m},010$ par mètre. Le tablier vient buter à son extrémité basse contre la

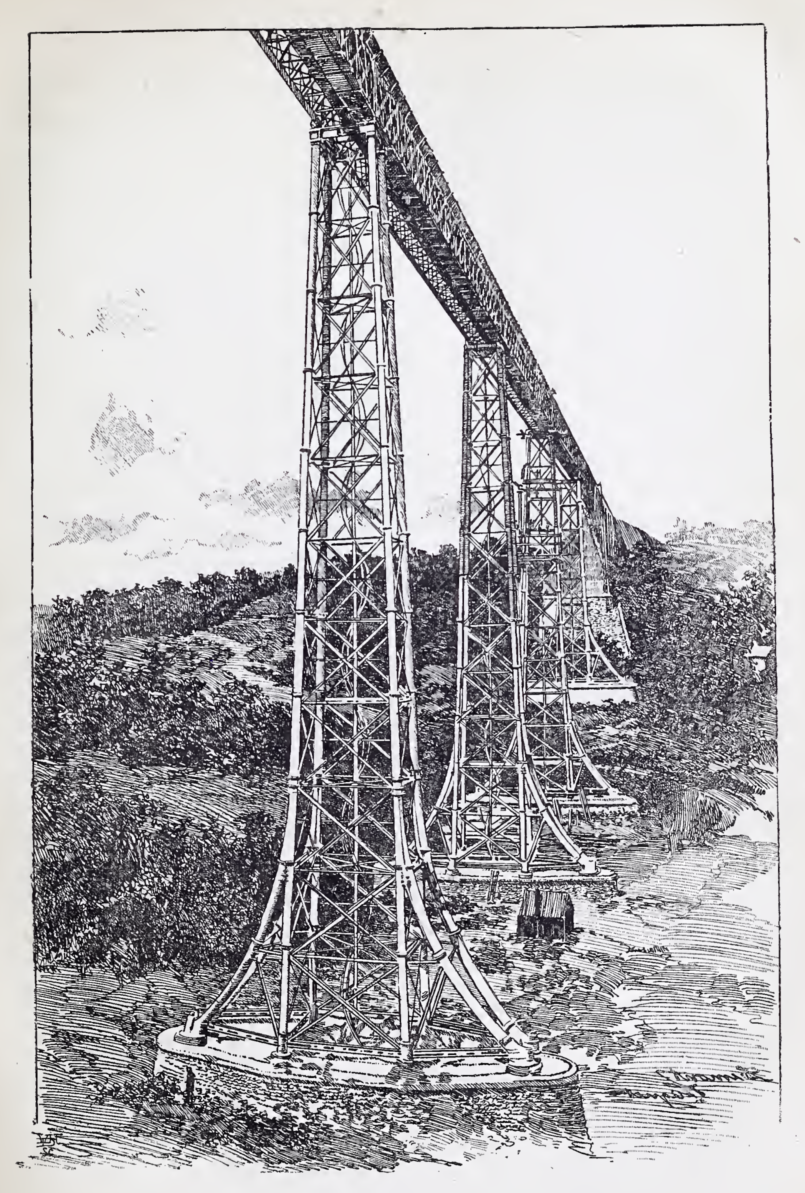


Fig. 64. — Viaduc de la Bouble. — Vue des piles.

culée au moyen d'un dispositif spécial; il peut se dilater à l'autre extrémité. Un appareil compensateur fixé à cette dernière extrémité permet la libre dilatation des rails.

Le poids de la partie métallique ressort à 4,850 kilogrammes par mètre courant; les dépenses totales de l'ouvrage se sont élevées à 1,252,000 francs. (MM. Arnaud et Geoffroy, ingénieurs.)

Viaduc de Marly-le-Roi (1884). — Le vallon de Marly-le-Roi est franchi par la ligne de l'Etang-la-Ville à Saint-Cloud au moyen d'un viaduc à cinq travées continues, dont deux extrêmes de 44^{m},31 et trois intermédiaires de 53 mètres.

Il est du même type de construction que celui du Val-Saint-Léger. Les poutres, toutefois, sont à treillis simple et ont 4^{m},10 de hauteur.

Le poids de la partie métallique est d'environ 4,500 kilogrammes par mètre courant. (MM. Luneau et Cabarus, ingénieurs. — Constructeurs, MM. Joret et Cie.)

Viaduc de la Tardes (1884). — Le viaduc de la Tardes, sur la ligne de Montluçon à Eygurande, traverse une vallée très profonde, et la voie est située à 80 mètres au-dessus du fond de la rivière. Il se compose de trois travées dont une centrale de 104 mètres et deux de 73 mètres.

C'est par voie de lançage que furent mises en place la première travée de rive et la travée centrale; mais on dut monter en porte-à-faux la dernière travée, par suite de circonstances locales. Ce lançage de la travée de 104 mètres est le plus considérable, comme espace franchi, qui ait été fait jusqu'ici. On a employé le procédé de lançage par leviers et châssis à bascule.

Pendant l'opération du lançage, la grande travée a été précipitée dans le vide par un violent coup de vent. (M. Daigremont, ingénieur en chef. — Constructeur, M. Eiffel.)

Pont de la rue de Flandre, à Paris. — La Compagnie des chemins de fer de l'Est a construit ce pont de 1890 à 1891. Le programme à réaliser était de rendre les voies indépendantes du tablier, afin de pouvoir poser, si cela devenait nécessaire, des appa-

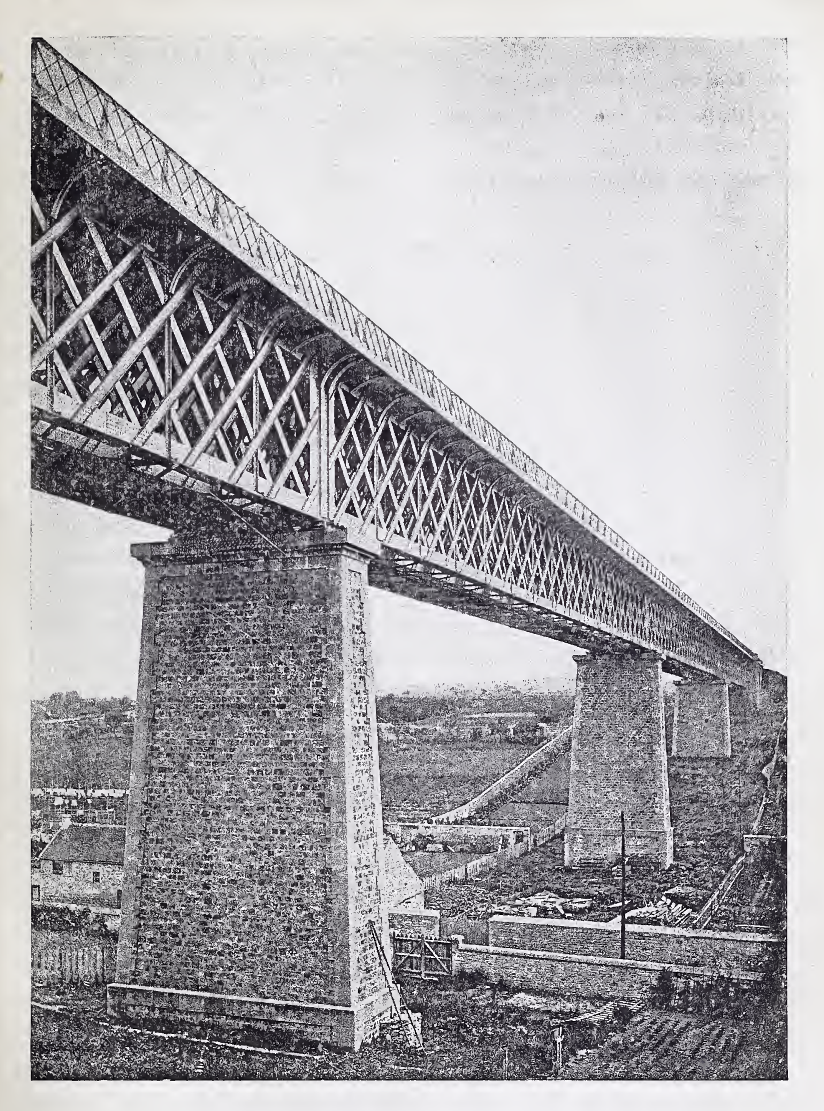


Fig. 65. — Viaduc du Val-Saint-Léger,
près de Saint-Germain-en-Laye.

reils de changement de voie comme en voie courante ; il fallait de plus assurer la complète étanchéité de l'ouvrage. Ce sont ces considérations qui ont fait adopter les tôles cintrées recevant le ballast et recueillant les eaux de pluie pour les déverser dans des gouttières (fig. 66); ajoutons que ces dispositions ont donné les meilleurs résultats. Les tôles cintrées sont fixées sur les poutres et leur transmettent directement toutes les charges verticales sans l'intervention des entretoises qui empêchent seulement les poutres de se rapprocher sous l'action des tôles. Les poutres sont donc sollicitées au déversement dans l'intervalle de deux entretoises, mais elles ont reçu à leur partie supérieure une résistance horizontale assez forte pour que les efforts dus à ces actions, ajoutés à ceux des charges verticales, ne dépassent pas les limites fixées par l'Administration supérieure. (Circulaire ministérielle du 9 juillet 1877.)

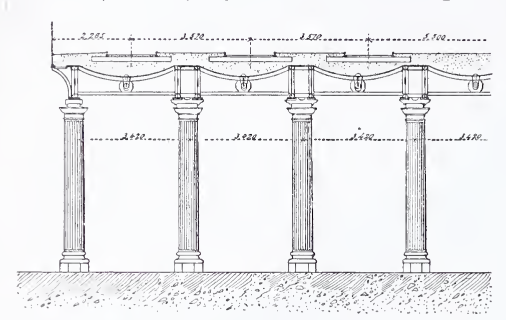


Fig. 66. — Pont de la rue de Flandre. (Coupe transversale partielle.)

L'ouvrage comprend 580,000 kilogrammes de fer et 160,000 kilogrammes de fonte.

2° A L'ÉTRANGER

Viaduc de Fribourg (1863). — Ce grand viaduc comprend sept travées dont deux de 40 mètres et cinq de 44 mètres d'ouverture. La hauteur du niveau de l'étiage de la Sarine jusqu'à celui des rails est de 76 mètres.

La partie supérieure seule des piles est en métal ; chaque pile métallique est formée de douze arbalétriers de section cylindrique renforcés en croix par des armatures en forme de double T; ils sont entretoisés dans le sens horizontal en croix de Saint-André.

Les poutres à treillis sont au nombre de quatre, placées sous chaque file des rails. Elles reposent sur le couronnement en fonte des piles par l'intermédiaire d'une semelle en bois destinée à bien répartir les pressions. Le prix du mètre linéaire est de 6,060 francs.

C'est à ce viaduc qu'à été inauguré le système de lançage par propulsion. On construisit la poutre sur le côteau puis on la fit rouler sur des galets jusqu'à ce que son extrémité atteignît l'échafaudage établi sur les maçonneries de la première pile. Puis on éleva la partie métallique de cette pile en utilisant la poutre comme pont de service. On installa de nouveaux galets à son sommet et on continua à faire rouler la poutre en avant. On opéra ainsi de proche en proche jusqu'à ce que l'extrémité du pont fût arrivée sur la rive opposée. On dégagea les galets et on laissa descendre le pont sur ses appuis définitifs.

Pour produire le mouvement on avait installé un treuil sur la culée et on agissait sur le pont au moyen de câbles dont les extrémités étaient fixées à des points choisis en arrière. (Ingénieur, M. Carl Etzel. — Constructeur, le Creusot.)

Ponts de la ligne du Saint-Gothard. — Les poutres métalliques des ponts de 30 à 50 mètres de portée sont formées de croix de Saint-André encadrées de montants verticaux.

Lorsque la portée atteint ou dépasse la limite indiquée ci-dessus les montants verticaux disparaissent et les diagonales se serrent de manière à constituer un véritable treillis.

Le **viaduc sur le Kerstellenbach,** près Amteg, comprend deux travées de 50 mètres, en treillis. Le niveau des rails est à 55 mètres au-dessus du point le plus bas de la vallée et la pile du milieu, en maçonnerie, à $43^{m},50$ de hauteur au-dessus du sol.

Le **viaduc de la Maien-Reuss**, près de la station de Wasen, se compose de six arches en maçonnerie de huit mètres d'ouverture et d'une grande travée métallique dont la portée est de 65 mètres. Il est en pente de 25 millimètres par mètre. La poutre est en treillis et sa hauteur est de $6^{m},386$. Le montage de la travée métallique a été fait au moyen d'une poutre en tôle de 40 mètres de longueur

supportée par un échafaudage en bois, disposé comme le représente la figure 11. Au-dessous de cet échafaudage était disposé un petit pont de service jeté sur le ravin.

Le **viaduc d'Inschi sur la Reuss** se compose d'une seule travée de 77 mètres de portée, située à 55 mètres au-dessus de la vallée et en pente de 26 millimètres par mètre. La hauteur du treillis est de $7^{m},640$; la voie est à la partie supérieure.

Le poids de la partie métallique est de 4,350 kilogrammes par mètre courant.

Pont de Kettwig sur la Ruhr (Chemins de fer de l'État prussien). — Cet ouvrage se compose de deux travées biaises de $62^{m},23$ d'ouverture chacune; il est construit pour deux voies, avec tablier supérieur.

Les poutres sont avec verticales et tirants du second ordre; leur hauteur est de $7^{m},80$. La semelle supérieure est formée de deux rangées de six cornières chacune, superposées. La semelle inférieure a la forme d'un caisson dans lequel, dans le voisinage des culées, la table inférieure est supprimée et remplacée par un treillis en fers plats. Les verticales sont formées chacune d'un fer à T ; les diagonales sont en fers plats. Tous les assemblages principaux sont faits au moyen de goussets.

Les pièces de pont sont formées chacune d'une poutre à âme pleine et à semelles parallèles posée sur les poutres principales. Les rails reposent directement sur les longerons au moyen de selles en fer.

Le poids des poutres principales est de 2,390 kilogrammes par mètre courant.

Pont de Rhenen sur le Rhin (Travées secondaires). — Nous décrivons plus loin le système de construction des trois grandes travées à semelle supérieure courbe de ce pont. Il comprend en outre cinq travées secondaires de $48^{m},32$ de portée. Ces dernières sont indépendantes ; les poutres sont à verticales et tirants de premier ordre ; leur hauteur est de $5^{m},65$. Les semelles sont formées de caissons, dont les plates-bandes ont 1 mètre de largeur et dont

les âmes, de $0^m,50$ de hauteur, sont distantes de $0^m,50$. Les diagonales sont formées chacune de deux fers plats ; les verticales ont la forme d'un double T, à âme pleine.

Les traverses en fer sont posées directement sur les longerons. Chaque poutre repose sur deux charnières, l'une fixe et l'autre mobile sur rouleaux.

Ponts du chemin de fer métropolitain de Berlin [1] (1883). — Le chemin de fer métropolitain de Berlin a nécessité la construction de quelques ouvrages métalliques intéressants : outre des ponts en arc et des ponts à poutres droites pleines, on y remarque

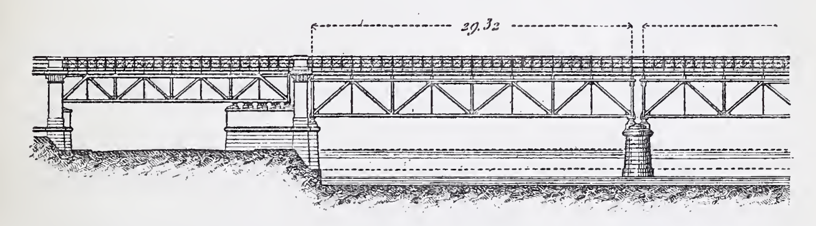


Fig. 67. — Pont de Humboldt. (Élévation partielle.)

le pont sur le port de Humboldt et sur la Sprée, au parc de Bellevue, que nous allons décrire ; l'un et l'autre ont été établis avec une préoccupation évidente d'obtenir un aspect satisfaisant, et probablement aussi de construire des ouvrages qui ne soient pas la reproduction pure et simple de types courants.

Le pont sur le **port de Humboldt** comprend cinq travées dont la portée varie de $29^m,32$ à 31 mètres, et deux travées plus petites de $19^m,60$ de portée. Les quatre voies auxquelles il donne passage sont supportées chacune par une paire de poutres isolées, distantes entre elles de $2^m,60$ et supportant des pièces de pont placées à leur partie supérieure. Les travées sont indépendantes.

Les poutres ont $3^m,74$ de hauteur ; elles sont formées chacune de deux semelles parallèles, réunies par une série de barres formant

1. Note de M. Bricka (*Annales des ponts et chaussées*).

des triangles isocèles dont les sommets sont placés alternativement sur la semelle inférieure et sur la semelle supérieure; à chaque sommet correspond, en outre, une verticale qui est rigide et forme chandelle, ou flexible et forme tirant, selon sa position (fig. 67). La forme des semelles accuse leur force croissante des extrémités au milieu.

Le poids de l'ensemble du pont, y compris le tablier, mais non compris les parapets, est, par mètre courant, de 5,568 kilogrammes.

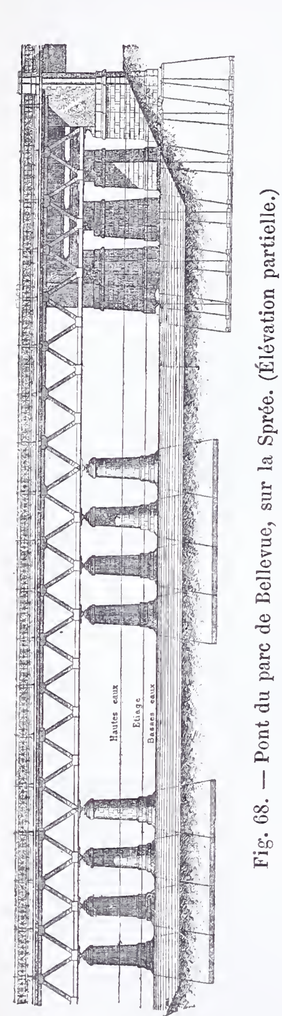


Fig. 68. — Pont du parc de Bellevue, sur la Sprée. (Élévation partielle.)

Le pont du **parc de Bellevue, sur la Sprée**, est formé de trois travées solidaires de $25^m,90$ de portée chacune, mesurées suivant le biais. Il donne passage à quatre voies, dont chacune est supportée par une poutre principale placée dans son axe ; les poutres sont entretoisées deux à deux dans le sens transversal et portent les pièces de pont à leur partie supérieure (fig. 68).

Les poutres sont formées de barres inclinées alternativement à droite et à gauche, qui forment une série de triangles équilatéraux, comme dans le système américain Warren. La hauteur des poutres est de $3^m,30$ et les côtés des triangles ont $3^m,70$ de longueur. Les semelles ont la forme d'H; les barres inclinées ont la forme de double T; leur assemblage sur les semelles est fait au moyen de goussets.

Dans ce pont, comme dans le précédent, la voie est posée au moyen de longrines en fer, système Haarmann, sur une couche de ballast renfermée dans deux auges parallèles de $0^m,40$ de largeur.

Le poids de la superstructure métallique y compris le tablier, mais sans les parapets, est, par voie et par mètre courant, de 3,693 kilogrammes.

Viaduc du Malleco (1890). — Un viaduc très important a été construit pour la traversée de la vallée très encaissée où coule la rivière du Malleco, au Chili. Il est établi pour une voie de chemin de fer de $1^m,68$, avec rails placés à la partie supérieure.

Le métal employé dans la construction des piles et dans la superstructure du viaduc est l'acier doux.

L'ouvrage comprend cinq travées continues de $69^m,50$ d'axe en axe des appuis, soutenues par quatre piles métalliques. La figure 69 indique la disposition des poutres, pièces de pont, longerons, entretoises, contreventements et tablier de la voie. Les poutres sont formées d'un treillis quadruple avec renforts verticaux.

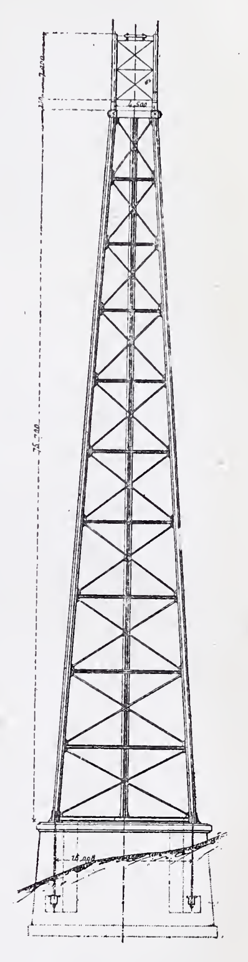


Fig. 69.
Viaduc de Malleco.
(Vue de côté d'une pile métallique.)

La hauteur de la partie métallique des piles est variable ; les deux extrêmes ont $43^m,70$ de hauteur, une du milieu a $67^m,70$ et l'autre pile a $75^m,70$. Ce sont les piles métalliques de la plus grande élévation connue. On a profité du poids des soubassements en maçonnerie en intéressant, au moyen d'ancrages, un volume suffisant de matériaux pour obtenir, dans le plan des étriers d'ancrage, toute sécurité contre le renversement. Dans le sens transversal au viaduc les arbalétriers ont un fruit de 7 pour 100 et c'est dans ce sens que les piles offrent la plus grande dimension à leur base.

Les piles se composent de quatre piliers principaux dont la section a la forme octogonale et est composée

de huit fers en **U**. Une colonne centrale sert à régler la verticalité et à soutenir tous les contreventements et liens horizontaux. Ces contreventements sont de grandes dimensions pour réduire la surface de prise au vent sur les piles et sont composés d'entretoises horizontales et de croix de Saint-André.

Un chapiteau formé de poutres à double caisson supporte les appareils d'appui. Les poutres reposent sur les piles et les culées par l'intermédiaire d'appareils à rotule, pour que les réactions verticales passent par l'axe des appuis quand les poutres s'infléchissent. Les appareils sont fixes sur les deux piles centrales et comportent des rouleaux sur les deux piles extrêmes et sur les culées. Les sommets des deux grandes piles ne se déplacent que sous l'influence de la dilatation de la travée centrale ; ces déplacements, qui sont faibles relativement à la hauteur des piles, fatiguent peu celles-ci.

Le montage des piles s'est effectué par étages à l'aide d'un plancher qu'on élevait successivement en partant de la base. Les colonnes de chaque étage étaient d'abord mises en place ; puis on assemblait les entretoises et les contreventements.

Le montage du tablier s'est fait tout entier sur la rive droite du Malleco, sur une plate-forme de 95 mètres environ et la mise en place a été faite par halages successifs. (Le Creusot.)

Pont sur l'Indus, à Attock (Inde) (1883)[1]. — Ce pont, qui porte une voie ferrée, a été construit dans des conditions qui ont nécessité l'emploi de procédés particuliers, tant pour les fondations des piles métalliques que pour le montage des poutres. Le pont comprend cinq travées dont trois de 77 mètres et deux de $93^{m},60$. Les poutres sont du type Mohnié, à diagonales doubles et à semelles parallèles. Les piles sont constituées par huit arbalétriers en fer forgé, reliés entre eux par des diagonales dans le plan horizontal et sur les faces latérales de chaque étage. Quatre de ces arbalétriers sont à peu près verticaux ; sur les quatre autres, deux renforcent les

1. *Engineering; Génie civil; Revue générale des chemins de fer.*

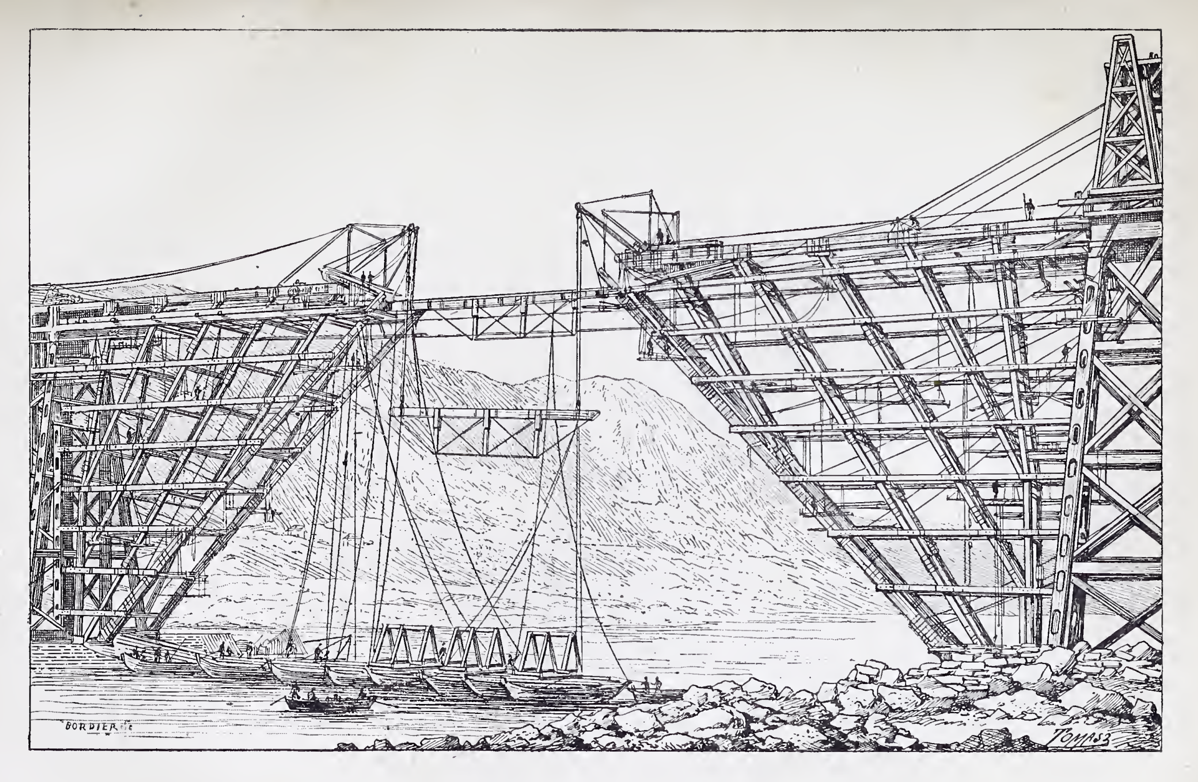


Fig. 70. — Pont sur l'Indus, à Attock. — Mode de montage d'une travée.

premiers à l'amont et deux à l'aval; le fruit commun est de 16/100. La construction des piles s'est faite par étage à l'aide d'un treuil monté sur une plate-forme reposant sur le contreventement horizontal supérieur de l'étage précédent.

Le montage des deux travées principales, situées au-dessus du lit de fleuve, s'est fait au moyen de deux potences en bois, construites près des piles et composées de palées en potence s'étalant en forme d'éventail. Les palées étaient rattachées entre elles et contreventées à l'aide de chaînes raidies par des tendeurs. Les deux potences laissaient dans le haut un espace vide qui a été rempli par une travée de secours, amenée par bateau au-dessous de sa place et montée à l'aide de treuils.

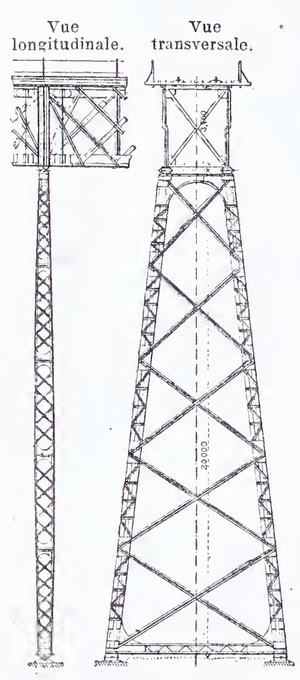


Fig. 71. — Pilier oscillant du viaduc de Weida.

Le prix total de l'ouvrage s'est élevé à 8 millions. (Ingénieur : M. O. Callaghan.)

Viaduc de la vallée de l'Oschütz (près de Weida, Saxe; 1884)[1], avec piliers oscillants. — Construit pour une voie, ce viaduc est composé de deux parties : la première formée de trois travées continues dont les deux extrêmes de $32^{m},50$ et l'intermédiaire de $36^{m},50$ de longueur; la seconde formée également de trois travées continues de 18 mètres chacune. Une pile en maçonnerie sert de culée commune aux deux parties du viaduc. Les autres piles intermédiaires sont formées par des piliers oscillants en fer qui constituent la particularité de l'ouvrage. Grâce aux articulations des piliers, ceux-ci peuvent suivre le mouvement longitudinal des poutres provoqué par le passage des trains

1. *Revue générale des chemins de fer,* janvier 1888.

ou par les effets des changements de température. Les socles des articulations inférieures des piliers sont en granit et on a ménagé dans les fondations de ceux-ci des ouvertures permettant d'inspecter facilement l'état de l'appareil articulé.

Sur la culée commune aux deux parties du viaduc est disposé un appareil de dilatation. La figure 71 donne les vues longitudinale et transversale d'un pilier oscillant et des poutres des plus grandes travées. Les deux piliers métalliques intermédiaires supportant ces poutres ont l'un 16 mètres et l'autre 20 mètres de hauteur; ceux des petites poutres ont une hauteur de 8m,23.

Les grandes colonnes ont une section rectangulaire, les petites une section cylindrique; leur forme est renflée vers le milieu.

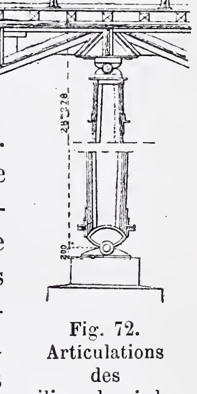


Fig. 72. Articulations des piliers du viaduc de Lysdalen.

Viaducs en Norwège. — On a aussi fait usage de piliers oscillants dans la construction de quelques viaducs en Norwège; tels sont les viaducs de Lysdalen, de Solbergdalen et de Haabolbach. Nous les citons ici quoique les poutres aient leurs semelles inférieures curvilignes et soient dérivées du Bow-String ou soient du type américain avec barres à œil. Toutefois la disposition des articulations et les détails de construction des piliers de ces ouvrages sont différents de ceux du viaduc de Weida. La figure 72, empruntée au traité de Morandière, représente les articulations des piliers du viaduc de Lysdalen. Au viaduc de Solbergdalen, la rotule inférieure est remplacée par une tôle mise de champ et pincée mi-partie dans le socle fixe et mi-partie dans la base de la colonne oscillante.

D'après Morandière les dispositions de piles oscillantes sont peu employées et il est probable que la crainte d'une facile destruction totale de l'ouvrage a empêché et empêchera, dans la plupart des cas, l'application de ce système, cependant à la fois ingénieux et économique.

Voie intermédiaire.

1° EN FRANCE

Parmi les ponts à voie intermédiaire nous pouvons citer en France le tablier du viaduc de Garabit, décrit page 193. La voie y est placée à mi-hauteur, afin de prévenir le renversement sous l'action du vent, de wagons non chargés, comme cela est arrivé sur la ligne de Commentry à Gannat.

Viaduc de la Penzé (1882). — Ce viaduc, construit pour la ligne à une voie de Morlaix à Roscoff, est composé de quatre travées continues : deux centrales de 60^{m},60 et deux de rive de 49 mètres (fig. 7). Les poutres, au nombre de deux, sont à treillis, à doubles mailles, avec montants verticaux.

La voie est placée dans le milieu de la hauteur des poutres sur des longrines reposant sur deux cours de longerons. Ces derniers sont fixés aux pièces de pont qui relient les deux poutres. Les pièces de pont ont 3 mètres de hauteur ; leur paroi est formée de croisillons.

Le poids par mètre courant ressort à environ 3,400 kilogrammes.

L'ouvrage a été mis en place par lançage, le tablier complètement monté, sans le secours d'avant-bec, d'armatures ni de haubans. (Ingénieurs : MM. Fenoux et Tarot. — Constructeur : Ateliers de Creil.)

2° A L'ÉTRANGER

Pont de Cobas. — Le pont de Cobas sur le Sil (ligne des Asturies) n'est intéressant que par sa portée, en une seule travée, qui est de 100^{m},80. La poutre est biaise et a 11 mètres de hauteur. La voie est placée au milieu de cette hauteur. Le poids de l'ouvrage est de 480,000 kilogrammes.

B. — *Ouvrages supportant des voies de terre.*

TYPES POUR FAIBLES OUVERTURES

Dans la construction des lignes de chemins de fer on a souvent à faire franchir ces lignes par des voies de terre. On emploie généralement pour cet objet des ponts pour lesquels l'ouverture entre les culées est réduite au minimum fixé par le cahier des charges.

Quand on a à assurer la traversée d'un chemin de fer à une seule voie par un chemin rural ou vicinal, auquel on donne un passage de 4 mètres entre parapets, on peut adopter un type de pont de 8 mètres d'ouverture entre les culées, composé de deux poutres qui s'élèvent jusqu'au niveau supérieur du trottoir, et

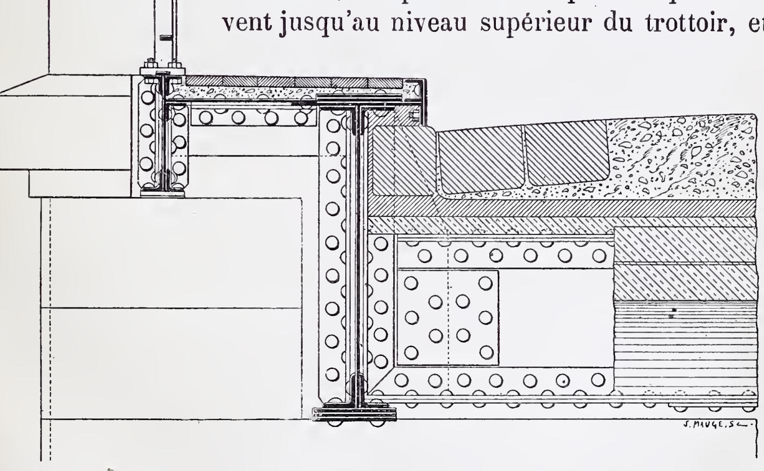


Fig. 73. — Type de pont pour route de 6 mètres. (Demi-coupe transversale.)

entre lesquelles sont compris trottoirs et chaussée ; les poutres sont réunies par des entretoises, sur lesquelles s'appuient de petites

voûtes en briques. Leur extrados est recouvert de béton sur lequel repose la chaussée.

L'exemple représenté par la figure 73 s'applique au passage biais d'un chemin de fer à voie unique par une route. Le pont présente, entre parapets, une largeur de 6 mètres qui correspond à celle des chemins de grande communication. L'ouverture biaise qui donne passage au chemin de fer est de $9^{m},295$.

Dans le cas où la route traverse un chemin de fer à double voie, on adopte des dispositions analogues.

Indépendamment de ces types courants, nous avons à examiner les ponts qui servent à faire franchir aux routes les cours d'eau, les vallées et les lignes de chemins de fer dans des conditions exceptionnelles.

Nous citerons pour mémoire les passerelles pour jardins, les ponts de service et les passerelles pour piétons dont les exemples sont très répandus.

Nous passerons tout de suite aux ouvrages de grandes portées.

TYPES POUR GRANDES OUVERTURES

Voie supérieure.

Passerelle de l'île des Cygnes sur la Seine, à Passy (1878). — Cette passerelle, établie d'après un nouveau système, relie les quartiers de Grenelle et de Passy, et donne seulement passage aux piétons par une voie de $6^{m},50$ de largeur entre les garde-corps. Elle se compose de deux parties, chacune sur un des deux bras de la Seine (fig. 74).

La longueur des tabliers est de 120 mètres sur le grand bras et de 90 mètres sur le petit bras de la Seine. Le premier tablier repose sur deux piles tubulaires écartées de 46 mètres entre elles, et de 37 mètres des culées. Le second repose sur deux piles tubulaires écartées de 34 mètres entre elles, et de 28 mètres des culées.

Chaque tablier est formé par trois cours de poutres, dont les membrures inférieures sont courbes, ce qui donne au pont l'aspect d'un pont en arc. Ces poutres ont leur point d'appui principal sur une pile et un point d'ancrage sur une culée; elles se prolongent

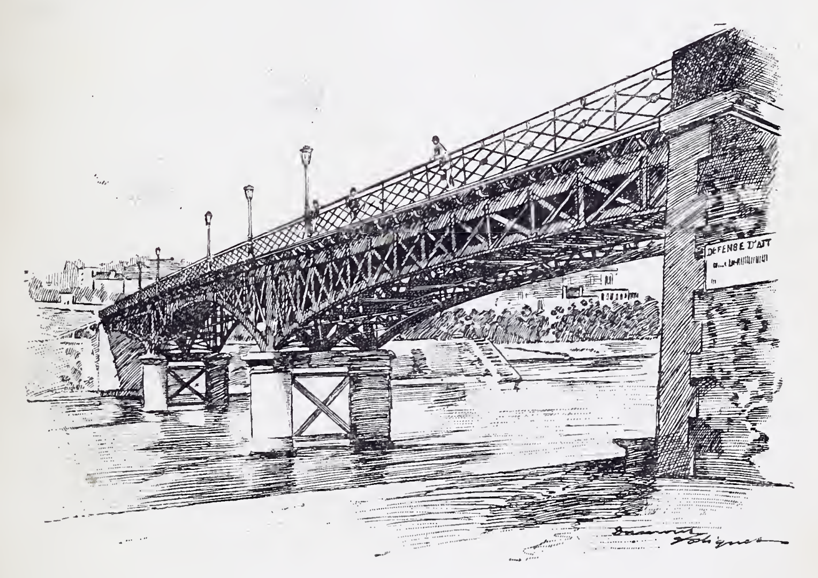


Fig. 74. — Passerelle à Passy.

dans les travées centrales par un encorbellement de la moitié de ces travées centrales.

Au milieu de chaque travée centrale, les poutres sont réunies, à l'extrémité de leur partie en porte-à-faux, par un boulon d'articulation qui les force à suivre ensemble les mêmes oscillations.

Les pressions développées sur les piles et les culées sont toutes verticales et ne donnent lieu à aucune poussée, ce qui a permis de faire les ouvrages en maçonnerie relativement très faibles.

Poids par mètre carré du tablier, 290 kilogrammes. (Usine Cail.)

Pont de la rue Legendre, à Paris (1893). — Le pont par lequel

la rue Legendre franchit les voies des lignes d'Auteuil, de Versailles et de Saint-Germain, et qui vient d'être construit à l'emplacement d'un pont en maçonnerie à trois arches, a une ouverture de 37 mètres légèrement biaise et a une seule travée. Les conditions locales n'ont pas permis de disposer les poutres de rive de telle sorte qu'elles se trouvassent au-dessous des garde-corps de l'ouvrage ; on a dû laisser en porte-à-faux une partie du trottoir. La largeur du pont entre garde-corps est de 12^{m},20, répartie en 7^{m},20 de chaussée et 2^{m},50 × 2 de trottoirs.

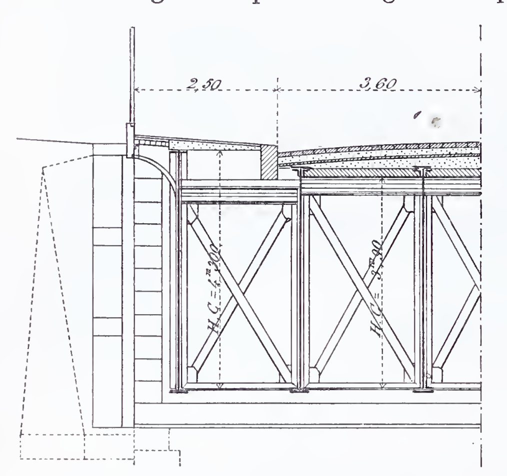


Fig. 75. — Pont de la rue Legendre, à Paris. (Demi-coupe transversale.)

On a été amené à composer le tablier métallique de six poutres principales en treillis portant la voie à la partie supérieure (fig. 75). Ces poutres, espacées de 2^{m},12 d'axe en axe, sont réunies par une série d'entretoises distantes de 1^{m},60, dont les cornières inférieures reçoivent la retombée des voûtes en briques, de 0^{m},11 d'épaisseur, qui supportent un remplissage en béton, la chape en asphalte, de 0^{m},02 d'épaisseur, et la chaussée formée de pavés en bois posés sur ciment. La figure 76 donne une partie de la coupe longitudinale du pont.

Les trottoirs, en dehors des poutres de rive, sont établis en encorbellement et supportés par des consoles; ils sont formés de briques, posées à plat sur les fers à T disposés perpendiculairement aux poutres, et sur lesquelles reposent une couche de béton et un dallage en asphalte. Les trottoirs sont limités, du côté extérieur, par deux poutrelles surmontées de grilles.

Le poids du métal par mètre courant est de 7,450 kilogrammes. Les différentes pièces du pont ont été calculées d'après les prescriptions de la circulaire ministérielle du 29 août 1891.

Pendant les travaux de reconstruction du pont, la circulation, qui est très intense sur ce point, n'a été interrompue un seul ins-

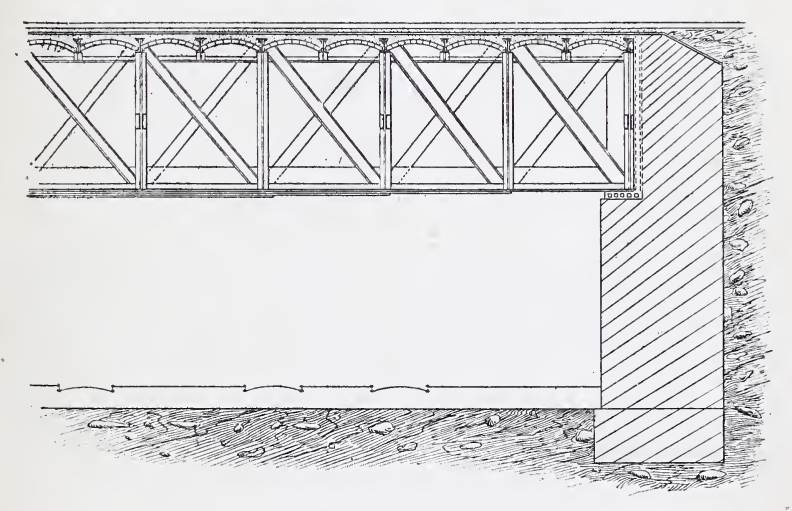


Fig. 76. — Pont de la rue Legendre, à Paris.
(Coupe longitudinale partielle.)

tant ni sur les voies ni dans la rue. (Compagnie de l'Ouest. Ingénieurs : MM. Clerc et Morlière. — Constructeur : Maison Joly.)

Jetée-promenade de Saint-Léonard-sur-Mer. — Cette importante construction, de 270 mètres de longueur, comprend, une grande plate-forme sur laquelle s'élève un bâtiment et qui est précédée d'une route pour voitures avec deux trottoirs d'une largeur totale de 12 mètres.

Au delà du bâtiment, situé à environ 60 mètres du rivage, la jetée se continue sur une largeur de $7^{m},40$ avec des élargissements tous les 20 mètres, et se termine par une plate-forme octogonale.

Toute la construction, qui est métallique, est supportée par des groupes de pieux à vis de $0^m,30$ de diamètre; les pieux d'un même groupe sont réunis par des barres rondes.

Voie inférieure sans contreventement supérieur.

Pont de l'Europe, à Paris (1866). — Ce pont, construit au-dessus de toutes les voies qui sortent de la gare Saint-Lazare, présente pour le passage de ces voies une largeur totale de 85 mètres, mesurée perpendiculairement à l'axe des travées qui sont au nombre de trois, savoir : les deux travées extrêmes ayant chacune 30 mètres d'ouverture et la travée centrale ayant 25 mètres d'ouverture.

La forme irrégulière que présente le pont de la place de l'Europe a été déterminée à la fois par la direction des six rues qui viennent se croiser sur ce pont, et par les directions des voies de fer qui passent au-dessous.

On a été obligé aussi d'observer des nivellements différents pour chacune des rues qui aboutissent à la travée centrale.

Le passage des voies de chemin de fer est compris entre deux culées en maçonnerie de $2^m,50$ d'épaisseur, ayant : celle du côté de la rue de Rome, $117^m,74$ de longueur, et celle du côté opposé $148^m,65$. Ces deux culées ne sont pas parallèles mais forment un angle de 13° 5'. Entre les culées on a établi deux piles en maçonnerie de $2^m,50$ d'épaisseur dont l'une est parallèle à une des culées et l'autre, qui affecte la forme d'un V dont les branches sont parallèles aux deux directions des culées, rachète le défaut de parallélisme de ces culées. Ces piles et ces culées déterminent les trois travées affectées au passage des voies de la gare.

La surface recouverte par le tablier métallique est de 8,080 mètres carrés.

L'ensemble du tablier se compose d'une partie centrale de 50 mètres de largeur, correspondant à la travée du milieu et régnant sur toute la longueur comprise entre les culées et de quatre

parties triangulaires. La partie centrale se compose de neuf poutres intermédiaires de $2^m,10$ de hauteur, espacées entre elles de $5^m,10$ d'axe en axe, qui règnent sans interruption d'une culée à l'autre, en s'appuyant au passage sur les deux piles intermédiaires (fig. 77). Ces poutres ont par conséquent des longueurs variables à cause du défaut de parallélisme des culées ; la plus courte a $94^m,93$ et la plus longue $105^m,92$ de longueur totale. Elles sont formées de deux treillis verticaux réunis à leurs parties supérieures et inférieures par des semelles horizontales. Ces semelles,

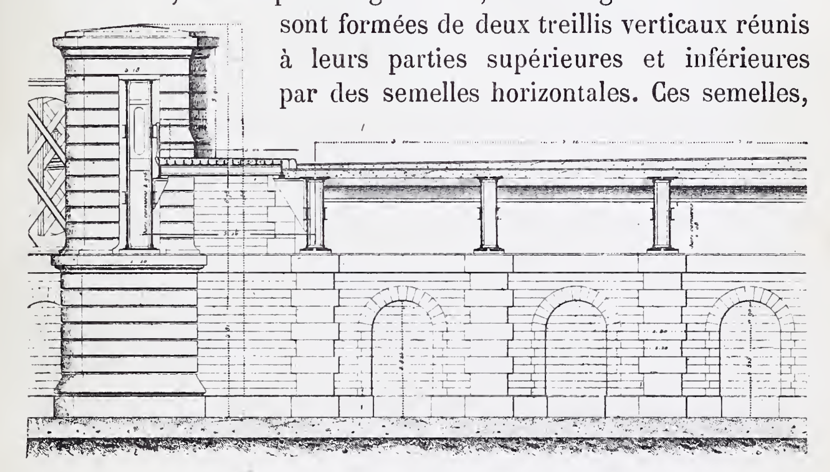


Fig. 77. — Pont de l'Europe, à Paris.
(Coupe perpendiculaire aux poutres intermédiaires.)

dont l'épaisseur est variable, ont une largeur uniforme de $0^m,45$ pour chaque treillis, ce qui pour la poutre entière donne une largeur de $0^m,915$ en y comprenant un vide de $0^m,015$. Les deux treillis composant chaque poutre sont réunis de deux mètres en deux mètres dans le sens de leur longueur par des cloisons transversales pleines. Les barres tendues des treillis sont formées de fers plats et les barres comprimées de fers en U. La partie centrale est terminée à chacune des têtes de la travée du milieu par une poutre de 5 mètres de hauteur.

Les quatre parties triangulaires se composent essentiellement chacune d'une poutre de rive longeant les rues correspondantes.

A cette poutre principale est rattachée une série de poutres intermédiaires parallèles à celle de la partie centrale et d'une construction semblable, sauf la hauteur qui varie en raison de la pente des rues, de manière à conserver à la charge permanente qu'elles doivent porter une épaisseur sensiblement constante. Ces poutres reposent à une de leurs extrémités sur la maçonnerie des culées, et à l'autre sur les poutres de tête qui ont ainsi à supporter une fraction notable du poids de la partie triangulaire correspondant à chacune d'elles, ce qui a obligé à leur donner une très grande résistance.

Les longueurs totales des quatre grandes poutres qui limitent les têtes du pont dans les parties triangulaires varient de $38^{m},124$ à 90 mètres, cette dernière longueur étant en deux travées.

Ces quatre poutres ainsi que les deux poutres de rive de la travée centrale ont chacune 5 mètres de hauteur ; elles sont, comme les poutres intermédiaires, formées de deux treillis verticaux terminés en haut et en bas par des semelles horizontales et réunis de 4 mètres en 4 mètres par des cloisons transversales. Toutefois pour la poutre de la rue de Londres, qui a une portée beaucoup plus considérable que les autres, les semelles sont d'un seul morceau dans le sens de la largeur, qui est de $1^{m},30$.

Indépendamment des cloisons verticales les deux treillis de chaque poutre sont reliés par des entretoises formées de boulons de $0^{m},035$ de diamètre avec manchons en fonte, qui empêchent à la fois l'écartement et le rapprochement des deux treillis ; ces boulons sont placés aux points où les barres formant les treillis viennent se croiser.

La poutre de la rue de Londres, se composant de deux travées inégales, a été chargée à l'extrémité de sa petite travée d'un poids de 50,000 kilogrammes en gueuses de fonte placées dans la culasse de la poutre, pour empêcher le soulèvement de cette petite travée.

Les poutres intermédiaires sont reliées entre elles et aux poutres de rive par des entretoises en tôle ayant $0^{m},60$ de hauteur,

espacées entre elles de 2 mètres d'axe en axe. Ces entretoises supportent des voûtes en briques creuses de $0^m,22$ d'épaisseur en arc de cercle (fig. 78).

Les reins des voûtes sont remplis de béton maigre pour régulariser les surfaces et établir les pentes nécessaires pour l'écoulement des eaux ; au-dessus du béton règne une chape en asphalte

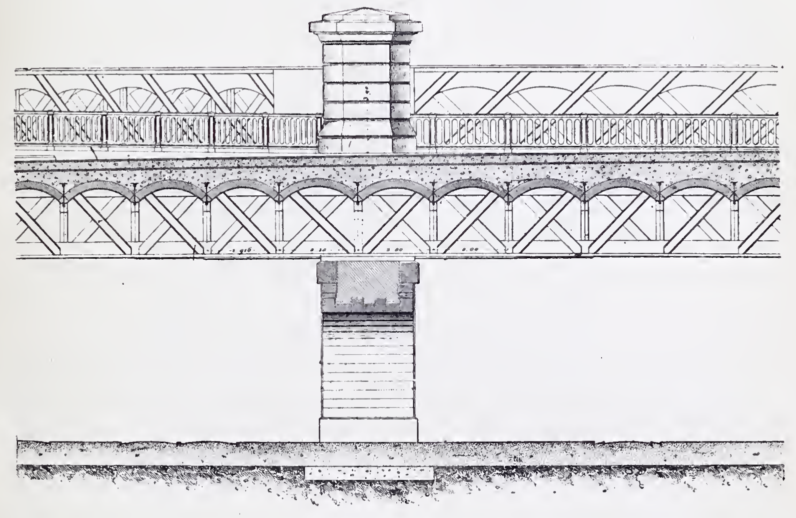


Fig. 78. — Pont de l'Europe, à Paris.
(Coupe parallèle aux poutres intermédiaires.)

et enfin sur cette chape on a établi une chaussée avec pavage en bois.

Le long des poutres de rive et à l'intérieur du pont sont fixés des garde-corps en fonte.

Les portées des poutres sur la pierre de taille se font par l'intermédiaire de plaques en fonte sous lesquelles on a interposé deux feuilles de plomb de $0^m,005$ d'épaisseur chacune. Les poutres intermédiaires sont ancrées sur l'une des piles et libres, pour la dilatation, à leurs extrémités et sur la deuxième pile. Les poutres de tête sont ancrées à l'une de leurs extrémités et libres à l'autre et, pour

assurer les mouvements qui doivent se produire à l'extrémité libre, elles reposent sur la plaque d'appui par une série de rouleaux en acier de $0^m,08$ de diamètre qui se meuvent entre deux plaques également en acier dont l'une est fixée sous la poutre et l'autre sur la plaque d'appui. Pour les poutres intermédiaires, le mouvement est assuré au moyen de deux plaques de fonte, l'une fixée sous la poutre et l'autre ancrée dans la maçonnerie, qui glissent l'une sur l'autre.

Le poids total des métaux a été estimé à 430 kilogrammes par mètre carré et la dépense de la charpente métallique seule à environ 200 francs, la dépense de l'ensemble de la construction étant par mètre carré d'environ 290 francs. (Compagnie de l'Ouest, MM. Julien, directeur; Clerc, ingénieur en chef. — Constructeurs : Société Cail et Société de Fives-Lille.)

Voie inférieure avec contreventement supérieur.

Pont-route de Cadillac (1880). — Ce pont, construit sur la Garonne, se compose de quatre travées continues de $50^m,425$ chacune et de deux viaducs d'accès de $19^m,475$. Les deux poutres principales des grandes travées ont $6^m,30$ de hauteur et laissent entre elles une largeur disponible de $5^m,30$; elles sont à treillis quadruple sans renfort vertical (fig. 79).

Les trottoirs sont placés en encorbellement sur les poutres principales.

Les viaducs d'accès ont des poutres principales pleines à semelle inférieure semi-parabolique.

Le poids du mètre superficiel de la partie métallique est seulement de 217 kilogrammes, poids très réduit pour des travées de 50 mètres avec chaussée empierrée, sur voûtes en briques. La mise en place par lançage du tablier a présenté des difficultés particulières attendu que les poutres avaient la forme d'un arc mesurant $2^m,15$ de flèche, afin de laisser dans le centre une plus grande hauteur disponible au-dessus de la rivière.

Pont-route de Cubzac (1882). — Le nouveau pont-route de Cubzac, sur la Dordogne, a une longueur de 552 mètres, divisée en huit travées dont les intermédiaires ont une ouverture de 72m,80.

Les poutres sont en treillis quadruple, sans renforts verticaux, avec voie à la partie inférieure et contreventement à la partie supérieure.

Le lançage, effectué au moyen de leviers, a présenté de grandes difficultés en raison du peu de stabilité sous les efforts de renverse-



Fig. 79. — Pont de Cadillac. (Vue intérieure du tablier.)

ment qu'offraient les piles métalliques en fonte par suite de la forme qui leur avait été donnée pour rappeler celles de l'ancien pont suspendu sur l'emplacement duquel celui qui nous occupe est élevé. La nécessité de lancer le pont en rampe de 0m,01 par mètre augmentait encore la difficulté. On a effectué le lançage à partir de chacune des rives pour les trois travées avoisinantes. La rampe des deux travées centrales étant différente, on dut employer un procédé de montage que M. Eiffel a été le premier, croyons-nous, à appliquer en France : c'est le procédé en porte-à-faux. Rappelons

en quoi il consista : on fixa, en porte-à-faux, sur la partie des poutres déjà en place, les pièces de fer qui y font suite et quand celles-ci furent assemblées on s'en servit comme de nouveaux appuis pour fixer les parties suivantes. De proche en proche on monta ainsi complètement dans le vide les parties successives de la travée,

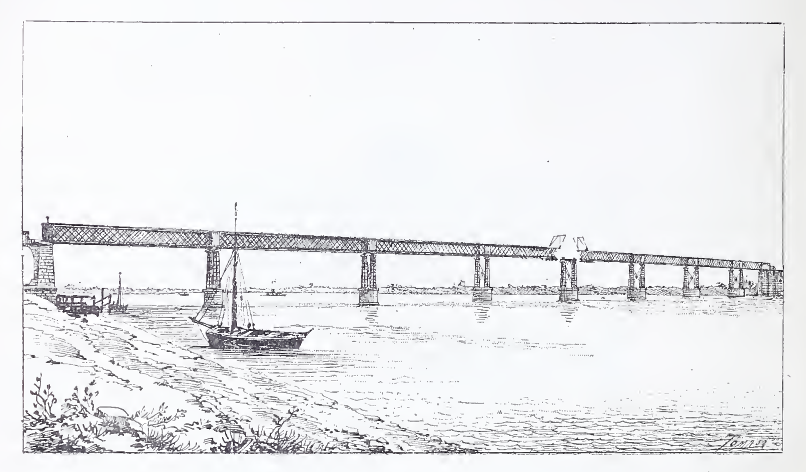


Fig. 80. — Pont de Cubzac. (Vue pendant le montage.)

jusqu'à la pile suivante. On chemina ainsi d'une longueur de $72^{m},80$ jusqu'à l'axe de la pile centrale où se fit la rencontre des deux travées montées en porte-à-faux (fig. 80). Le poids de l'ouvrage est de 3,000,000 de kilogrammes. (Eiffel.)

Voie intermédiaire.

Parmi les ouvrages à voie intermédiaire d'une certaine importance nous pouvons citer : le pont sur la rivière de la Cèze (Hérault), qui se compose d'une seule travée de 30 mètres d'ouverture ; la largeur libre laissée pour le passage est de $4^{m},20$. La hauteur des poutres est de $2^{m},30$.

Pont de Caulaincourt, à Paris (1889). — Ce pont, qui sert à la traversée du cimetière Montmartre, est en acier. Il a une largeur

de 16 mètres et une longueur de 135 mètres, reposant sur deux culées en maçonnerie et sur six couples de colonnes tronconiques en fonte. Il est formé de deux poutres à treillis portant la chaussée environ à moitié de leur hauteur, qui est de $3^{m},50$, au moyen de tôles embouties, reposant sur les longerons qui relient les pièces de pont. Le tablier présente une rampe de $0^{m},037$ par mètre.

Les tôles, cornières et rouleaux de dilatation sont en acier Bessemer ou Martin-Siemens, doux, non cassant, malléable à chaud et à froid et non susceptible de trempe. Les rivets et boulons sont en fer. Le poids du mètre carré du tablier est de 850 kilogrammes en nombre rond ; le montant total de la dépense a été de 610,000 francs. (Établissements Cail.)

C. — *Ponts pour chemins de fer et pour routes.*

1° EN FRANCE

Pont de Manda, sur le Var (1890). — Ce pont en acier, à double tablier, construit sur la ligne stratégique de Grasse à Nice, est le plus important ouvrage de ce genre, établi en France, sur les lignes secondaires.

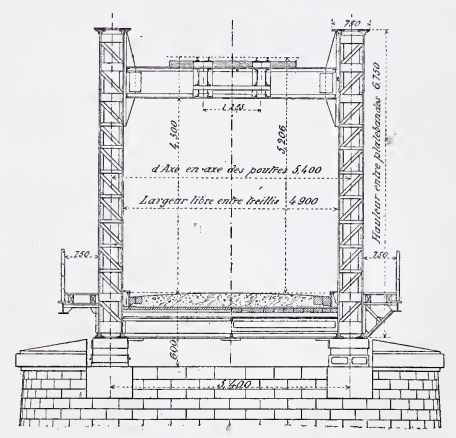


Fig. 81. — Pont de Manda, sur le Var. (Coupe transversale.)

Le tablier inférieur sert au passage d'une voie de terre avec trottoir en encorbellement ; le tablier supérieur supporte une voie ferrée à quatre rails permettant le passage des trains pour voie de 1 mètre et des trains formés avec le matériel des grands réseaux à voie normale et remorqués par des ma-

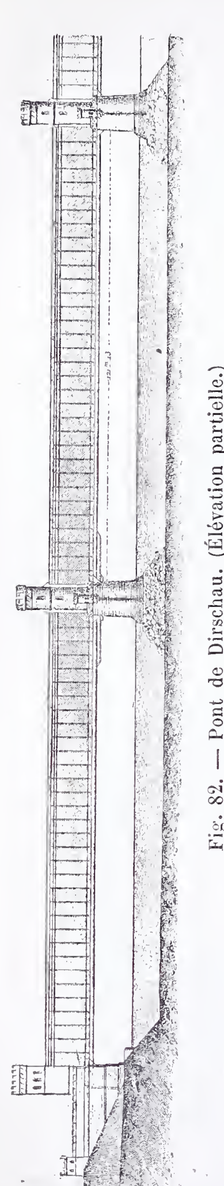


Fig. 82. — Pont de Dirschau. (Élévation partielle.)

chines à voie de 1 mètre. Le viaduc comprend six travées indépendantes de 58m,416 d'ouverture et deux viaducs d'accès. Les poutres des travées principales, de 6m,750 de hauteur, sont formées de montants verticaux et de diagonales, ces dernières croisées dans la partie centrale de la travée.

La coupe transversale (fig. 81) montre la constitution du tablier. Le poids, par mètre courant, des travées principales est d'environ 4,100 kilogrammes. La dépense totale de l'ouvrage s'est élevée à 1,770,000 francs. (Ingénieurs : MM. Félix Martin et Bobin. — Constructeur : Société des Ponts et Travaux en fer.)

2° A L'ÉTRANGER

Pont de Dirschau (1850-1857). — Ce pont établi sur la Vistule, à la fois pour route et pour chemin de fer, est un ouvrage remarquable. Il est formé de six travées chacune d'une portée exceptionnelle de 121m,13 solidaires deux à deux (fig. 82). Les poutres sont à petites mailles, raidies par des renforts verticaux ; elles laissent entre elles une largeur libre de 6m,233 au milieu de laquelle est placée la voie ferrée ; les voies charretières se trouvent de chaque côté de cette dernière (fig. 83). Il existe un trottoir en encorbellement. Les pièces de pont ont 1m,30 de hauteur ; il n'y a pas de longerons en fer. Le poids du métal par mètre courant est de 9,500 kilogrammes.

Pont de Marienbourg (1850-1857). — Ce pont, sur la Vistule, se compose de deux tra-

vées de 98 mètres d'ouverture. Il sert au chemin de fer et aux voitures comme le pont de Dirschau. De chaque côté du pont existe un trottoir en encorbellement. Les poutres, de 6m,43 de hauteur, sont à petites mailles avec renforts verticaux très rapprochés. Les pièces de pont, en treillis, ont 0m,63 de hauteur; il n'existe pas de longerons en fer.

Un plafond plein se trouve à la partie supérieure du pont; un autre est situé à la partie inférieure. Le poids de la superstructure par mètre courant est de 7,154 kilogrammes.

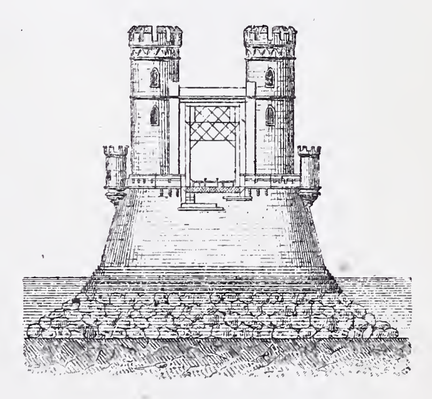


Fig. 83. — Pont de Dirschau.
(Coupe transversale au droit d'une pile.)

Pont de Cologne (1855-1859). — Il comporte un pont pour chemin de fer à deux voies et, à côté, un pont pour route avec quatre travées de 98m,25 solidaires deux à deux.

Le treillis des poutres, de 8m,50 de hauteur, est à petites mailles avec renforts verticaux. Dans le pont pour chemin de fer le treillis est double; il est simple dans le pont-route. Les pièces de pont, de 0m,56 de hauteur, supportent les rails et la chaussée par l'intermédiaire de longrines en bois de forte épaisseur. Le poids par mètre linéaire est de 7,100 kilogrammes pour le pont du chemin de fer et de 4,400 kilogrammes pour le pont-route.

Pont de Mezzana-Corti, sur le Pô[1] (1866). — Ce pont, construit près de Pavie, mesure 758m,40 de longueur totale entre les culées, et se compose de dix travées à poutres droites en treillis ayant chacune 72m,50 de portée libre. Il comporte à la fois un chemin de fer à deux voies à la partie inférieure, et une route carrossable à la partie supérieure (fig. 84). La largeur libre inté-

1. *Nouvelles Annales de la construction.*

rieure est de $7^m,412$ et la hauteur libre de $5^m,495$. La distance d'axe en axe des maîtresses poutres est de $8^m,310$. Les poutres sont formées d'un double treillis à mailles serrées, avec montants verticaux.

Le tablier proprement dit se compose de deux parties indépendantes identiques, venant se terminer sur la pile centrale. Cette disposition a été adoptée pour faciliter les mouvements de dilatation de la partie métallique, et à cet effet on n'a fixé le tablier que sur la troisième et la septième pile, ce qui fait que la plus grande dilatation se manifeste sur les deux culées et sur la pile centrale ; à ces trois endroits on a posé des coussinets spéciaux en fonte permettant la libre dilatation des rails de la double voie du chemin de fer. Ces coussinets sont faits de manière à présenter une surface de roulement aux boudins des roues sans que les bandages proprement dits des mêmes roues touchent les rails comme dans le cas ordinaire.

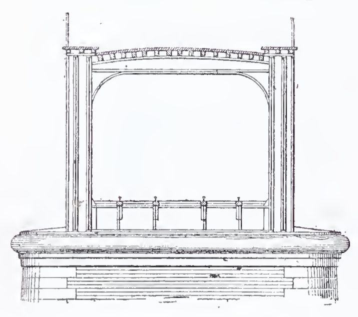


Fig. 84. — Pont sur le Pô, à Mezzana-Corti. (Coupe transversale.)

C'était un des plus beaux ouvrages d'art de l'époque ; il a été construit par la maison Gouin, de Paris. Deux portes monumentales, rappelant le style des principaux édifices de Pavie, ornent les culées.

Pont de Vianna (1878). — Ce pont, construit en Portugal, pour route et pour chemin de fer, a une longueur de 736 mètres dont 563 mètres pour le pont principal. Cette dernière partie a été lancée d'une seule pièce. On a employé pour le lançage le procédé par leviers et chassis à bascule. La masse mise ainsi en mouvement était de 1,600,000 kilogrammes. Les piles en maçonnerie sont au nombre de neuf. (Maison Eiffel.)

Le **Pont de Bullay**, Allemagne (1878), sur la Moselle, a six travées indépendantes ; la travée en rivière a $88^m,60$ de portée, les

travées secondaires ont 35^{m},44. La partie supérieure des poutres porte un tablier pour double voie de chemin de fer et la partie inférieure un tablier pour route (fig. 85).

La hauteur des poutres est uniformément de 11^{m},275.

Le système de liaison adopté pour les semelles est un treillis quadruple, sans montants verticaux. Le treillis est d'ailleurs composé suivant les règles habituelles aux constructeurs allemands, c'est-à-dire que les barres qui travaillent à la compression sont seules rigides.

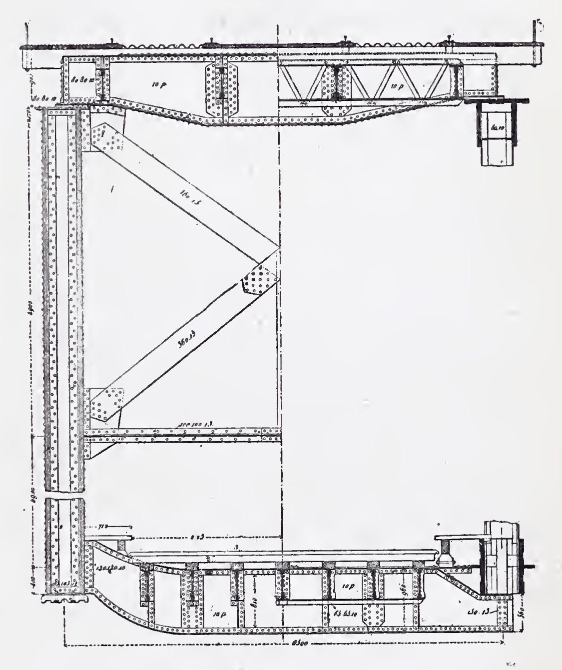


Fig. 85. — Pont de Bullay.
(Coupe et détails de la travée principale.)

Le poids de la grande travée du pont de Bullay est de 6,986 kilogrammes par mètre courant.

Pont de Jekaterinoslaw, sur le Dniéper, en Russie (1884). — Ce pont supporte une voie de fer à la partie inférieure et une route à la partie supérieure ; sa longueur totale est de 1,390 mètres, comprenant quinze travées principales de 83 mètres et deux viaducs d'accès. Ces travées principales sont formées de poutres de 9^{m},75 de hauteur, laissant entre elles un espace de 5^{m},79. Les poutres sont à triple triangulation avec diagonales tendues et semelles parallèles rectilignes ; ces diagonales sont croisées dans la partie centrale de chaque travée (fig. 86.) Les rails sont

portés par des traverses en bois reposant sur des longerons en fer.

La voie charretière est supportée, à 9 mètres au-dessus des rails, par des poutres transversales de $0^m,90$ de hauteur ; des trottoirs, en encorbellement, règnent de chaque côté de la chaussée.

Un viaduc d'accès à trois travées de 21 mètres de portée, à chaque extrémité du pont, sert à la voie charretière. Les poutres de ce viaduc ont leurs semelles inférieures paraboliques (fig. 86). (Ingégénieurs : MM. Belelubsky et Beresin.)

Pont d'Embabeh, sur le Nil (1892). — Ce pont a une longueur de 500 mètres qui comprend six travées fixes dont les quatre in-

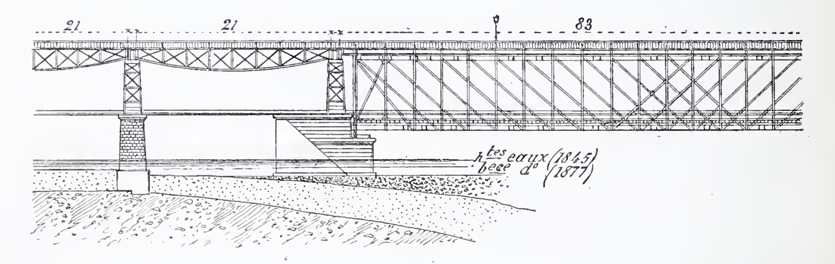


Fig. 86. — Pont de Jekaterinoslaw, sur le Dniéper. (Élévation partielle.)

termédiaires ont 74 mètres et les deux extrêmes 62 mètres, deux travées tournantes égales ayant une longueur totale de 58 mètres environ et enfin deux travées d'accès de 11 mètres chacune.

La largeur est de $13^m,50$ et se répartit ainsi : une voie ferrée au milieu et deux passerelles latérales en encorbellement possédant une voie charretière et deux trottoirs. Un garde-corps sépare les passerelles de la voie ferrée.

Les poutres principales ont $7^m,50$ de hauteur ; les voies sont à la partie inférieure. Le pont est construit en acier extra-doux. (Ateliers de Creil.)

D. — *Ponts-canaux.*

La tôle est aussi employée dans la construction des ponts destinés au passage des canaux ou des aqueducs. Elle présente

certains avantages sur la maçonnerie, notamment la possibilité de réduire les hauteurs.

Dans ces ouvrages, la surcharge provenant du fait du passage des eaux ou des bateaux est constante et uniformément répartie.

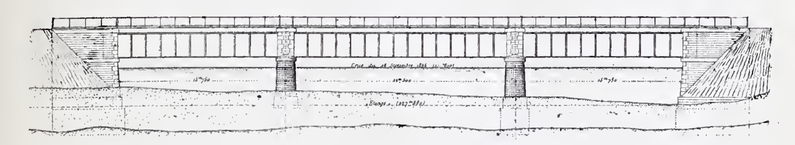


Fig. 87. — Pont-canal de la Bourbince. (Élévation.)

Cela est évident pour les ponts-aqueducs; on se rendra compte qu'il en est de même pour les ponts-canaux en remarquant que les bateaux ne produisent pas de surcharge puisqu'ils déplacent un poids d'eau exactement égal au leur. A ce point de vue le métal travaille dans des conditions absolument satisfaisantes.

Pont-canal de la Bourbince (1871). — Nous pouvons citer en France le pont-canal, près Digoin, pour le canal du Centre au-dessus de la rivière de la Bourbince. La superstructure métallique de l'ouvrage a une longueur de $54^{m},770$ constituée par trois travées reposant sur les piles et les culées. La travée centrale a une longueur de $21^{m},50$ d'axe en axe des piles et les deux travées de rive $17^{m},50$ de l'axe des piles au nu des culées (fig. 87). La partie métallique pénètre dans les maçonneries sur les rives afin d'assurer l'étanchéité.

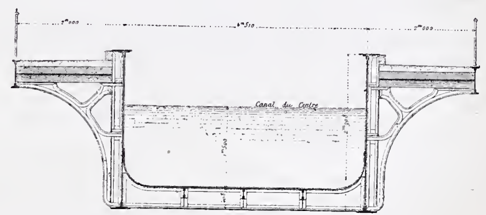


Fig. 88. — Pont-canal de la Bourbince. (Coupe transversale.)

La bâche ou cuvette est de forme rectangulaire avec une largeur de $4^{m},510$ (fig. 88). Les poutres qui forment ses parois latérales ont $2^{m},908$ de hauteur et sont renforcées par des montants verticaux placés à l'extérieur. Le fond de la cuvette se raccorde tan-

gentiellement aux parois latérales ; la tôle qui le constitue repose sur des entretoises de $0^m,408$ de hauteur réunies entre elles par trois cours de longerons. La hauteur de l'eau dans la cuvette est de $1^m,50$. Deux chemins de halage de 2 mètres de largeur avec garde-corps sont placés en encorbellement, de chaque côté de la bâche, sur des voûtes en briques portées par des consoles fixées elles-mêmes sur les montants verticaux des parois latérales. Ces chemins de halage sont en contre-bas des semelles supérieures des poutres qui forment ainsi banquettes de sûreté.

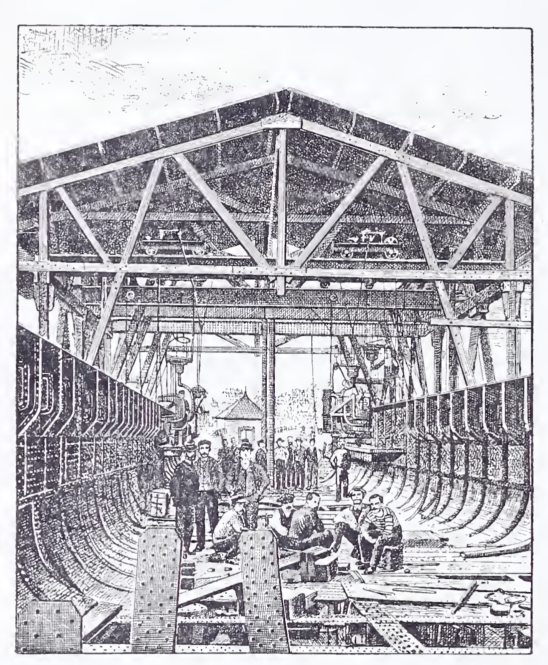


Fig. 89. — Pont-canal de Briare.
(Vue intérieure pendant la construction.)

Le poids des fers est de 139 tonnes et celui des fontes de 11 tonnes. (Le Creusot.)

Pont-canal de Briare. — On construit en ce moment un pont-canal très important qui traverse la Loire et relie le canal latéral au canal de Briare. Ce pont (fig. 89), qui est à poutres continues, a plus de 600 mètres de longueur et sa mise en place s'opère par voie de lançage.

Il est composé de quinze travées de 40 mètres d'ouverture et d'une travée de $8^m,20$.

La cuvette métallique est formée, sur les côtés, par les deux

poutres principales, à âme pleine, distantes de $7^m,25$ d'axe en axe, et, au fond, par des tôles cintrées reposant sur des entretoises.

Le poids du pont-canal par mètre courant est de 4,270 kilogrammes.

Pont-aqueduc près de Moret (1872). — Un pont-aqueduc a été construit sur le chemin de fer de Paris à Saint-Etienne, près de

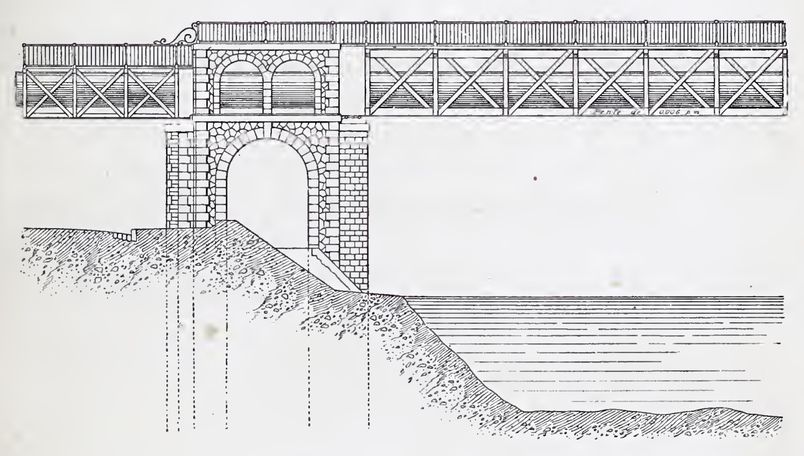


Fig. 90. — Passerelle-aqueduc de Saint-Cloud. (Élévation partielle.)

Moret, pour la dérivation des eaux de la Vanne. Il a une portée de 30 mètres et est formé de deux poutres à treillis, reliées à la partie inférieure par des entretoises. Ces entretoises réunies par deux cours de longerons supportent une bâche en tôle, de forme rectangulaire avec angles arrondis, ayant 2 mètres de largeur et $1^m,700$ de hauteur comprise entre les deux poutres.

Passerelle-aqueduc de Saint-Cloud (1893). La direction des travaux de Paris vient de faire construire, sur la Seine, un ouvrage destiné à la dérivation des sources de la Vigne et de Verneuil. Cet ouvrage porte à la partie supérieure une passerelle pour piétons et à la partie inférieure la conduite d'amenée des eaux.

Il comprend cinq travées dont trois centrales de 39 mètres de longueur et deux de rive de $37^{m},50$ (fig. 90).

La superstructure métallique se compose de deux poutres continues de $2^{m},900$ de hauteur à croix de Saint-André avec montants verticaux.

Les deux poutres espacées de $2^{m},30$ d'axe en axe sont reliées: à leur partie supérieure par des entretoises en treillis qui supportent la chaussée par l'intermédiaire de plaques de tôle ondulée ; à leur partie inférieure par des entretoises de $0^{m},400$ de hauteur à âme pleine sur lesquelles repose la conduite d'amenée des eaux.

La conduite est formée de tuyaux en fonte de $1^{m},50$ de diamètre intérieur et de $0^{m},026$ d'épaisseur. L'ensemble de l'ouvrage et de la conduite présente une pente de $0^{m},006$ par mètre.

La passerelle-aqueduc principale est accompagnée d'une passerelle de 11 mètres de portée qui franchit une route latérale à la rive gauche de la Seine. (M. Humblot, inspecteur général. — M. Bienvenue, ingénieur en chef.)

§ 2. — Ponts de systèmes divers.

A côté des types de constructions indépendantes dont nous venons de parler, on rencontre un certain nombre de systèmes dont la plupart sont d'ailleurs inusités en France.

Telles sont les quatre catégories suivantes dont la classification est empruntée à Croizette-Desnoyers :

1° *Bow-string* avec une semelle courbe, présentant la forme d'un arc au repos ;

2° *Bow-string* avec deux semelles courbes, figurant un arc tendu ;

3° Type principalement employé en Allemagne avec semelles courbes, mais où les extrémités sont droites et présentent peu de hauteur ;

4° Type principalement employé en Hollande, dont la semelle

supérieure, ordinairement courbe, est séparée de la semelle inférieure, à ses extrémités, par des montants verticaux.

Par ces différents types on a cherché avec plus ou moins de succès à réduire les poids, et par conséquent les dépenses, en maintenant autant de solidité que possible.

PREMIÈRE CATÉGORIE

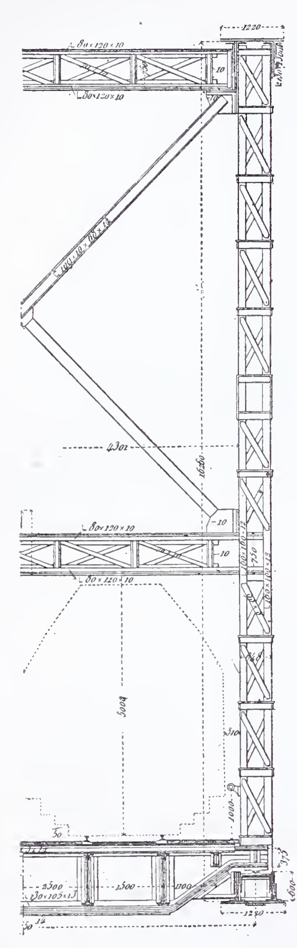
Pont de Windsor. — En 1849, Brunel construisit à Windsor un type de bow-string pour deux voies. Le pont est constitué par trois poutres dont une, au milieu, détermine deux compartiments de $5^{m},334$ d'ouverture. Le contreventement n'existe qu'à la partie centrale.

Pont de Sharpness, sur la Severn (1879). — La partie métallique a une longueur de 1,269 mètres et comprend un pont tournant de 60 mètres de longueur, treize travées de 41 mètres, cinq travées de $52^{m},15$, deux travées de $95^{m},16$ et une travée de $41^{m},10$, toutes en forme de bow-string (fig. 91).

Fig. 91. — Pont de Sharpness. (Élévation.)

Chaque extrémité des travées repose sur deux colonnes en fonte, à l'exception des extrémités des grandes travées qui reposent sur quatre colonnes. La hauteur au milieu des grandes travées est de $11^{m},90$. Les semelles supérieures ont une âme double, les semelles inférieures n'ont pas de tables horizontales mais sont composées d'un double cours de feuilles verticales. Les diagonales, formées de lames plates, embrassent les montants verticaux dont la section est en forme de double T. Les cornières des montants dépassent la semelle inférieure et

viennent se rattacher à l'âme verticale des pièces de pont. Grâce à cette disposition, très usitée en Allemagne, les pièces de pont sont suspendues dans l'axe des poutres au lieu de reposer sur leur semelle inférieure. Un plancher en tôle supporte la voie et sert de contreventement pour la partie inférieure du pont. La partie supérieure est aussi contreventée, mais seulement vers le milieu des travées, par suite de la forme même adoptée pour les poutres. Les poids par mètre linéaire de débouché se sont élevés : pour les grandes travées, à 5,000 kilogrammes ; pour les travées moyennes, à 2,600 kilogrammes ; pour les petites travées, à 2,200 kilogrammes. (Ingénieurs : MM. Keeling, Owen et Harrison.)


Fig. 92. — Pont de Rhenen. (Demi-coupe transversale.)

Pont de Rhenen (1883). — Nous empruntons à la note de M. Bricka sur les ponts en Allemagne, Hollande, etc. (*Annales des ponts et chaussées*), la description de cet ouvrage construit sur le Rhin, en Hollande.

Le pont de Rhenen se compose de trois grandes travées de $94^{m},70$ et de cinq travées secondaires de $48^{m},32$ de portée ; il est construit pour deux voies.

Les poutres principales des grandes travées ont la semelle supérieure courbe, en forme de parabole ; au lieu d'être coupée carrément à ses extrémités, chaque poutre est terminée en sifflet, par suite de la forme triangulaire donnée aux panneaux extrêmes. Le système des verticales et des tirants est du premier ordre (voir page 138).

Les semelles sont formées de caissons composés d'une plate-bande et de deux âmes verticales (fig. 92). Les diagonales sont formées chacune de deux fers plats, assemblés sur les âmes des semelles. Les verticales sont formées chacune de quatre cornières reliées deux à deux par des treillis en fers plats et cornières, de manière à former de véritables piliers carrés. A signaler que les pièces de pont reposent, par l'intermédiaire d'axes en acier, sur les âmes des semelles inférieures renforcées par des lames de tôle transversales. Les traverses sur lesquelles reposent les rails sont fixées directement sur les longerons; elles portent le platelage et, pour éviter un porte-à-faux excessif, leurs extrémités sont soutenues par des longerons secondaires.

Chaque poutre repose sur deux charnières, l'une fixe et l'autre mobile sur rouleaux. Le poids par mètre courant est de 7,423 kilogrammes.

Pont de Caen (1858). — Les ponts de Caen sur l'Orne et d'Isigny sur la Vire sont les premiers et ont été, jusqu'à ces derniers temps, les rares exemples de bow-string existant en France. Le pont sur l'Orne a été construit sur la ligne de Caen à Cherbourg et se compose d'une travée de 44 mètres d'ouverture; il a subi depuis d'importantes modifications; le pont sur la Vire a été remplacé.

Pont sur le Roubion (1887). — On a construit dernièrement un pont en bow-string sur le Roubion, à Montélimar. Ce pont pour route a une portée de $62^{m},40$.

Nous ferons rentrer dans la catégorie des bow-string les poutres du *système Schwedler*. Elles s'y rattachent évidemment par leur forme générale, seulement elles ont une semelle de forme polygonale. De plus les semelles sont parallèles dans les panneaux du milieu; c'est seulement dans les extrémités qu'elles décrivent des courbes.

Ce système est très répandu en Allemagne.

Pont de Domitz (1874). — Ce pont à deux voies, sur l'Elbe, comprend vingt-quatre travées indépendantes, dont vingt de

32 mètres, quatre de 65 mètres, et un pont tournant. Les poutres sont du système Schwedler, avec montants verticaux, et diagonales. Les diagonales sont doubles et croisées seulement vers le milieu des travées. La semelle supérieure est en forme de caisson; la semelle inférieure est formée de deux âmes verticales renforcées. Les diagonales et les verticales sont réunies entre elles, aux points où elles se croisent, par des boulons passant dans des trous percés en ovale pour faciliter le libre travail des pièces dans le sens des efforts aux-

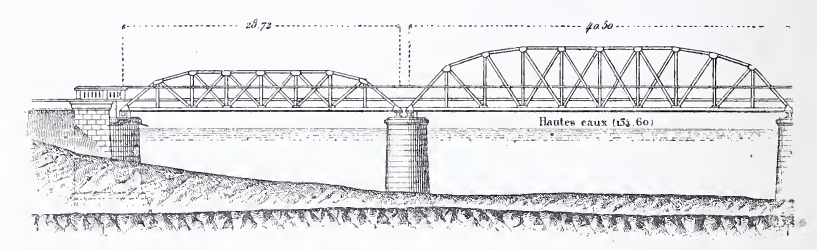


Fig. 93. — Viaduc de Conz. (Demi-élévation.)

quels elles sont soumises. Chaque poutre repose à une de ses extrémités sur un support à charnières et à l'autre sur un support fixe.

Viaduc de Conz[1]. — Le viaduc de Conz sur la Sarre (Allemagne) est formé de quatre travées dont deux de $40^{m},50$ et deux de $28^{m},72$ de portée (fig. 93). Le peu de hauteur dont on disposait a conduit à l'emploi du système Schwedler. Le pont est construit pour deux voies, mais chacune des voies est supportée par un tablier indépendant.

La hauteur des poutres des grandes travées est de $5^{m},80$ et celles des poutres des petites travées de $3^{m},57$. Un contreventement supérieur existe dans la partie centrale des grandes travées; il n'y en a pas dans les petites.

Sur toute la longueur du pont, les rails reposent directement sur les longerons et, pour éviter l'emploi de selles, on a donné à ceux-ci l'inclinaison sur la verticale que doivent avoir les rails.

1. M. Bricka, *Annales des ponts et chaussées.*

Le poids des grandes travées est de 1,407 kilogrammes par mètre courant ; pour les petites travées il est de 1,119 kilogrammes.

Viaducs du Salm et du Lieser. — Il nous reste à parler de certains ouvrages dont les poutres ont encore une semelle curviligne, mais c'est la semelle inférieure. Ces poutres sont dites à *ventre de poisson*. Les poutres des viaducs du Salm et du Lieser sont de ce genre ; ce système a été adopté par raison d'économie. Le profil

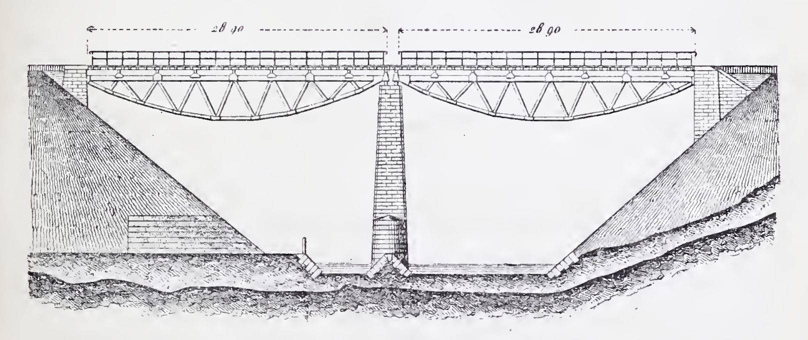


Fig. 94. — Viaduc du Salm. (Élévation.)

de la semelle inférieure est un arc de cercle (fig. 94). Le treillis est réduit à sa plus simple expression et formé simplement de lames rigides formant une triangulation. La portée est, dans le premier viaduc, de $28^{m},90$ et dans le second de $28^{m},40$. La hauteur est de 4 mètres, et il n'y a qu'une voie. Les poutres principales sont espacées d'axe en axe de $2^{m},80$; elles sont contreventées à leur partie supérieure par les pièces de pont qu'elles supportent, et à leur partie inférieure par des traverses en forme de croix accolées et placées au droit des attaches des lames de treillis avec les semelles; les pièces de pont sont reliées entre elles par des croix de Saint-André à fers plats; les fers à croix sont reliés deux à deux de la même façon par des fers à U. Remarquons qu'il n'existe aucun contreventement dans le plan des barres de triangulation.

La semelle supérieure a la forme d'un U renversé; elle est

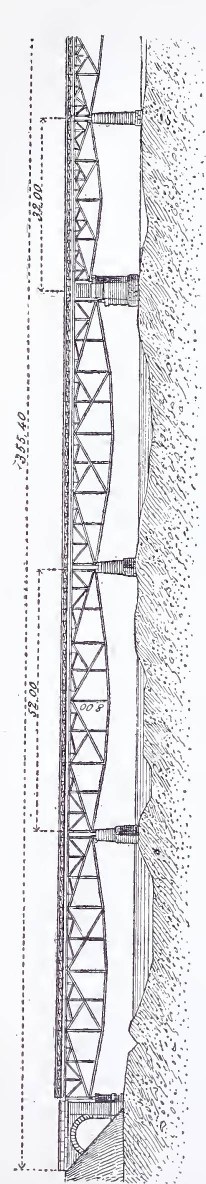


Fig. 95. — Pont de Landshut, en Bavière. (Élévation partielle.)

composée d'une lame de tôle horizontale sur laquelle sont assemblées deux autres lames placées verticalement; celles-ci sont contreventées de distance en distance à leur partie inférieure par des morceaux de fer à U.

Les semelles inférieures sont formées chacune de deux fers à T composés, espacés de 280 millimètres.

Au viaduc du Lieser, les rails sont portés directement, sans interposition d'aucune fourrure en bois, par les longerons rivés aux pièces de pont; au viaduc du Salm, le voisinage d'une courbe a nécessité l'emploi de traverses pour donner le dévers.

Le poids de la partie métallique est de 1,280 kilogrammes par mètre courant pour le viaduc du Lieser[1].

Ponts sur la ligne de l'Arlberg. — Nous citerons sur cette ligne trois ponts, dont l'un, sur l'Inn, a 61^{m},61 de portée, qui sont à ventre de poisson. Parmi ces ponts se trouve le pont de Rosana.

Nous avons parlé ailleurs, dans cet ouvrage, des viaducs construits en Norwège, dont les poutres, en forme de ventre de poisson, reposent sur des piliers oscillants.

Pont de Landshut (Bavière)[1]. — Le pont construit à Landshut, sur l'Isaar, est le seul exemple récent que nous connaissions d'un pont à poutres droites avec articulation dans les poutres principales. La forme assez com-

1. Note de M. Bricka, *Annales des Ponts et Chaussées.*

pliquée et l'aspect grêle de ces poutres ne paraissent pas devoir provoquer beaucoup d'imitateurs ; toutefois, comme l'ouvrage se comporte bien sous le passage des trains, il nous a paru mériter d'être cité à titre de renseignement.

Le pont comprend trois grandes travées de 52 mètres et cinq petites travées de 32 mètres de portée (fig. 95). Chaque travée est formée de deux poutres, placées en dessous de la voie, et qui peuvent être considérées comme des poutres à ventre de poisson, à quatre panneaux, avec verticales et diagonales dirigées de haut en bas vers les culées; la semelle supérieure a elle-même, dans chaque panneau, la forme d'une poutre armée dont un des tirants est constitué par la partie supérieure de la diagonale correspondante; les assemblages sont faits de telle façon que les poutres armées qui constituent la semelle supérieure sont chacune formées d'éléments réunis avec des rivets, tandis que les pièces complémentaires sont assemblées avec ces poutres et entre elles au moyen de charnières.

Le poids total du pont, non compris les sabots en fonte placés sur les poutres, est de 541,000 kilogrammes.

DEUXIÈME CATÉGORIE

Pont de Saltash (1858). — Ce pont, construit près de Plymouth, par Brunel, comprend deux grandes travées de 132 mètres d'ouverture (fig. 96) et dix-sept de 24 à 26 mètres. La semelle supérieure présente la forme d'un arc tubulaire en tôle dont la section est une ellipse ayant des diamètres de $5^m,10$ et $3^m,66$ (fig. 97).

Cet arc est sous-tendu par deux chaînes polygonales en arc auxquelles le tablier est suspendu. L'arc supérieur et les chaînes sont réunis par des montants et des croix de Saint-André. Le tablier est formé de deux poutres de $2^m,44$ de hauteur que des montants verticaux relient à l'arc inférieur. Les chaînes formant cet arc inférieur sont composées de lames en fer méplat. Chacune des

grandes travées a été montée sur un chantier au bord de la

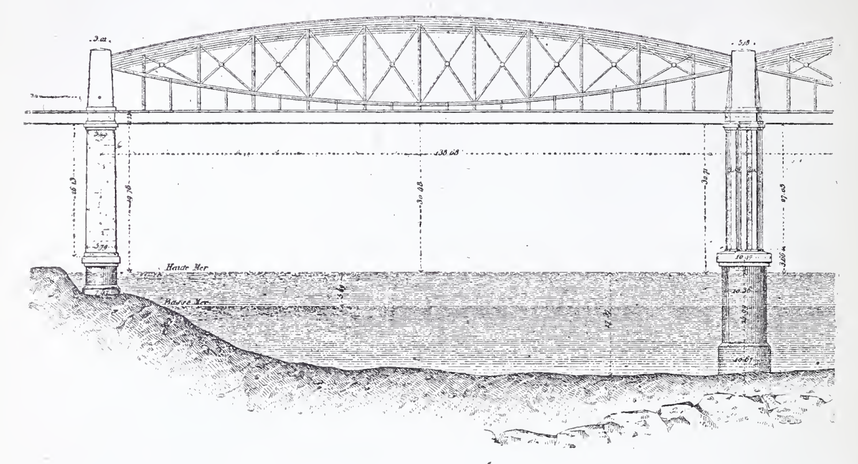


Fig. 96. — Pont de Saltash. (Élévation partielle.)

rivière ; puis elle a été amenée entre les piles et soulevée par des presses hydrauliques. Le poids d'une de ces travées est de 8,000 kilogrammes par mètre linéaire.

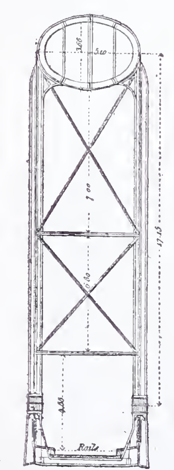


Fig. 97. Pont de Saltash. (Coupe suivant l'axe d'une travée.)

Pont de Chepstow (1852). — Le Great Western traverse la Wye, à Chepstow, au moyen de ce pont à deux voies indépendantes dû à Brunel (fig. 98). Il comprend une grande travée de $90^m,21$ d'ouverture en forme de bow-string. Pour chaque voie il se compose d'un arc formé d'un tube circulaire de $2^m,75$ de diamètre auquel est suspendu le tablier (fig. 99). La voie est supportée par des poutres de $2^m,286$ de hauteur reliées à l'arc en deux points de leur longueur par des montants verticaux et reposant sur les culées. Une chaîne formant un polygone sous-tend l'arc supérieur et reporte les efforts vers les extrémités de l'arc.

Le poids de cet ouvrage est de 10,600 kilogrammes par mètre d'ouverture pour deux voies.

Pont du Botzbergbahn sur l'Aar. — Ce pont qui a été construit sur l'Aar, en Suisse, en 1875, comprend cinq travées dont une

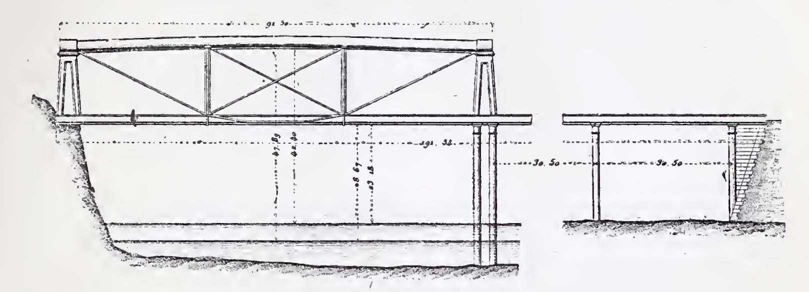


Fig. 98. — Pont de Chepstow. (Élévation générale.)

centrale de 56^{m},90 d'ouverture, deux intermédiaires de 46^{m},20 et deux de rive de 35^{m},70.

La forme des poutres rappelle celle du pont de Saltash, mais dans des proportions moindres ; l'arc supérieur a une section rectangulaire et les deux extrémités des poutres sont reliées par une barre horizontale ; la voie est à la partie supérieure de l'ouvrage.

Un pont suspendu pour voie de terre règne en dessous du pont du chemin de fer.

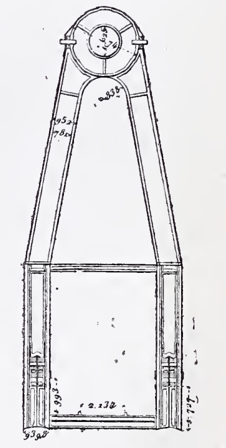


Fig. 99.
Pont de Chepstow.
(Coupe transversale.)

Pont de Mayence (1860). — Le pont du Rhin, à Mayence, a une seule voie et comprend quatre grandes travées de 90 mètres d'ouverture droite chacune et de 101^{m},30 de longueur biaise, et des petites travées sur chaque rive ; l'ensemble de l'ouvrage a une longueur de 1,029 mètres entre les culées ; les travées sont indépendantes. Elles sont du système dit *système Pauli.*

L'aspect des poutres des grandes travées rappelle celui du pont de Saltash, mais la construction est différente.

La différence principale consiste en ce que l'arc supérieur, au

lieu d'être tubulaire, est constitué par des semelles en forme de double T de $1^m,05$ de hauteur, et que l'arc inférieur présente une section rectangulaire formée d'une série de lames plates. Des montants verticaux et des croix de Saint-André relient les semelles. Les deux extrémités de chaque travée sont réunies par une barre horizontale et reposent sur des pilastres en fonte reliés par des treillis ; un des points d'appui est fixe, l'autre est mobile pour permettre la dilatation.

Les poutres ont $16^m,60$ de hauteur dans leur partie centrale ; elles sont fortement contreventées. Les pièces de pont sont en

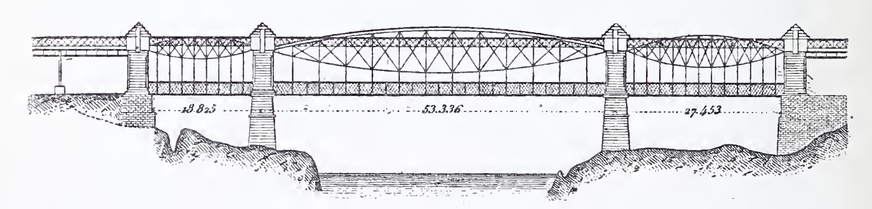


Fig. 100. — Pont de Sarpsfoss. (Élévation.)

treillis et ont une hauteur de $0^m,95$; elles sont réunies par deux cours de longerons qui supportent la voie. Un trottoir est établi sur un des côtés du pont.

Le poids par mètre linéaire d'une grande travée serait de 3,346 kilogrammes, non compris les supports en fonte. La dépense pour le pont proprement dit se serait élevée à 5,532,000 francs.

Pont-viaduc de Sarpsfoss. — Cet ouvrage, en Norwège, donne en même temps passage à une voie de chemin de fer et à une voie de terre.

L'ouvrage se compose de plusieurs travées, dont trois du système Pauli, au-dessus de la rivière de Sarpsfoss. Ces trois travées ont des longueurs de $18^m,80$, $53^m,80$ et $27^m,45$ d'axe en axe des piles (fig. 100).

Les poutres Pauli supportent la voie de fer vers la partie supérieure ; la voie de terre leur est suspendue au moyen de tirants.

Les poutres du système Pauli qui ont été si souvent citées

comme exemples d'ouvrages construits en Allemagne, sont aujourd'hui complètement abandonnées; elles présentent entre autres inconvénients une tendance à la déformation qui fatigue beaucoup les assemblages et une complication de formes qui rend le montage coûteux et difficile (Note de M. Bricka).

Pont de Hambourg (1872). — Deux ponts ont été construits sur les bras de l'Elbe, entre Harbourg et Hambourg, pour deux

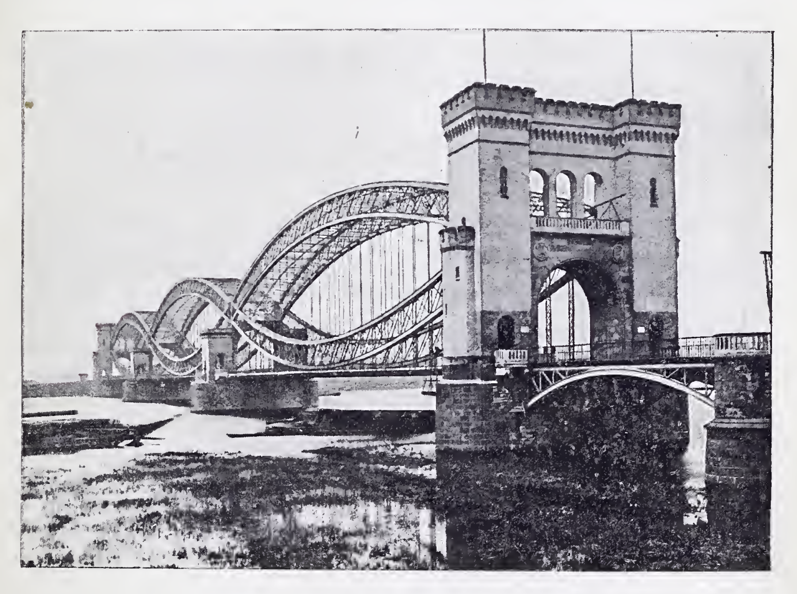


Fig. 101. — Pont de Hambourg, sur l'Elbe.

voies. Le premier se compose de quatre travées et le second de trois travées de $96^{m},36$ d'ouverture; ils comprennent en outre quelques travées de faible ouverture. Comme les ponts de Saltash et de Mayence ils sont formés de deux arcs dont la concavité est tournée en sens contraire; ils présentent par suite la même forme générale (fig. 101). Mais les deux arcs sont semblables et sont solidement établis et beaucoup plus rigides; par contre, ils ne sont reliés l'un à l'autre que par de simples montants verticaux à section

en forme de double T. Les arcs présentent une section rectangulaire; leurs extrémités s'appuient sur des supports à charnière.

Le tablier proprement dit est suspendu à la semelle inférieure de l'arc par l'intermédiaire de cornières attachées aux pièces de pont. Ces dernières sont réunies par des longerons. Deux étages de croix de Saint-André sont fixés sur ces longerons et rendent le tablier rigide. Des croix de Saint-André et des poutrelles transversales contreventent de même la partie supérieure des travées.

Le poids des tôles et fers des grandes travées s'élève par mètre courant à 6,200 kilogrammes. (Ingénieurs : MM. Lohse et Lobach.)

Les ponts de ce système paraissent n'avoir pas été imités.

TROISIÈME CATÉGORIE

Pont de Tilsitt (1865). — Le pont de Tilsitt, sur le Memel, se compose de trois travées de $94^{m},16$ d'ouverture, de deux travées de $93^{m},86$ et d'une double travée tournante.

Bien qu'étudiée par M. Schwedler, la superstructure métallique diffère du système spécial dû à cet ingénieur. Les deux semelles sont courbes et présentent la forme d'un fuseau tronqué à leurs deux extrémités; elles sont reliées par des croix de Saint-André, sans montants verticaux. La hauteur de la poutre est de $5^{m},20$ à l'extrémité et de $11^{m},927$ au milieu. Une bande horizontale règne d'une extrémité à l'autre de la travée (fig. 102).

Les pièces de pont sont suspendues au-dessous des semelles inférieures et sont réunies par des longerons. La largeur du tablier est suffisante pour donner passage à deux voies. Des fers à T posés transversalement sur les longerons dépassent les poutres et supportent deux trottoirs. Les travées reposent sur des supports à charnières posés sur les piles. Le contreventement est constitué par des croix de Saint-André disposées dans le plan des longerons et dans le plan de l'arc supérieur ainsi que par des poutrelles transversales, pour l'arc supérieur.

Le poids des tôles et fers s'élève à 6,530 kilogrammes par mètre linéaire d'ouverture.

Pont de Florisdorf (1873). — Ce pont, construit pour deux voies sur le Danube, près de Vienne, comprend quatre grandes travées de 79^{m},96 d'ouverture, 7 travées de 58^{m},28 et une série de petites travées de 9 mètres d'une longueur totale de 83^{m},44. Les semelles supérieures des travées sont courbes et présentent une certaine analogie avec celles des ponts de Hollande, mais le mode de construction est différent : la hauteur à l'entrée des travées n'est que de 1^{m},80, ce qui leur donne presque l'aspect d'un bow-string ;

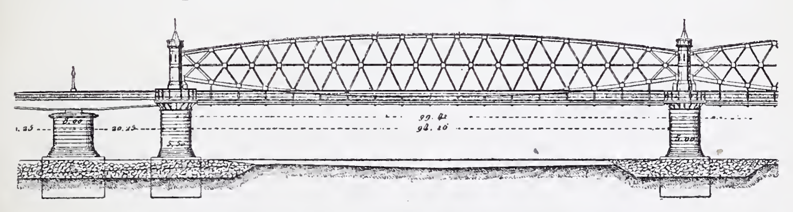


Fig. 102. — Pont de Tilsitt. (Élévation partielle.)

aussi le contreventement supérieur ne peut-il commencer qu'à une certaine distance des piles ; les semelles supérieures sont formées de fer en U d'un groupement assez compliqué.

Les travées sont indépendantes. Une passerelle pour piétons a été installée sur un des côtés du pont.

Les poids des tôles et fers se sont élevés par mètre linéaire de débouché à 6,450 kilogrammes pour les travées de 79^{m},96, et à 5,060 kilogrammes pour les travées de 58^{m},28. (Ingénieurs : MM. Hermann et von Stockert.)

Pont de Fumay (1886). — Un pont pour route, du même genre, a été construit sur la Meuse, en France, et comprend une travée de 90 mètres de portée.

Les deux poutres sont constituées par des croisillons en fer en U et des montants verticaux à section en forme de croix. La hauteur des poutres est de 10^{m},06 entre les semelles au milieu du pont et de 1^{m},725 aux extrémités ; la largeur du pont d'axe en axe

des poutres est de $4^{m},20$. Les deux poutres sont réunies à leur partie inférieure par des pièces de pont sur lesquelles reposent de petites voûtes en briques qui supportent la chaussée. Elles sont reliées en plus par deux étages d'entretoises à treillis.

Le montage a été effectué au moyen de quatre palées établies dans la rivière ; elles supportaient en même temps une passerelle en encorbellement pour piétons et bestiaux.

Le poids des métaux employés a été de 3,270 kilogrammes par mètre de portée et la dépense totale de 96,520 francs.

QUATRIÈME CATÉGORIE

Dans la classification de Croizette Desnoyers, cette catégorie est celle des ponts de Hollande avec poutres à semelle supérieure courbe coupées carrément à leurs extrémités. Ce type n'est pas exclusivement appliqué en Hollande. Nous le rencontrons aussi en Allemagne, en Autriche et même en France, etc., avec ou sans modifications.

Les ponts construits en Hollande, de 1863 à ces dernières années, ont été exécutés suivant un système que Croizette Desnoyers résume ainsi : 1° travées indépendantes, ce qui se justifie par la mauvaise qualité des fondations ; 2° semelles inférieures droites ; 3° semelles supérieures généralement curvilignes ; 4° treillis à larges mailles avec diagonales tendues et verticales comprimées ; 5° diagonales croisées seulement au milieu de la travée.

Le système à diagonales et verticales est dit du premier, du second ou du troisième ordre, selon que chaque diagonale traverse un, deux ou trois panneaux ; dans le voisinage du milieu, où les diagonales sont croisées, elles forment des croix de Saint-André dans le premier ordre et un véritable treillis dans le second et le troisième ordre.

M. l'ingénieur en chef Bricka fait remarquer que les ouvrages construits le plus récemment diffèrent des plus anciens sur quelques points. C'est ainsi que l'on a recours presque exclusivement

à l'emploi du premier ordre pour la disposition des tirants et des diagonales, même dans les poutres à très grandes portées, et à la terminaison en sifflet des poutres; il convient de citer en outre les précautions prises pour combattre les efforts produits par les pièces de pont qui tendent, en fléchissant, à gauchir les poutres principales si elles sont rivées à celles-ci. Les contreventements supérieurs, généralement très forts, empêchent bien les poutres de se voiler, mais leur résistance contribue à augmenter l'effort de torsion; dans les ponts de Rhenen et de Heumen on a obvié à cet inconvénient en faisant reposer les pièces de pont sur les semelles

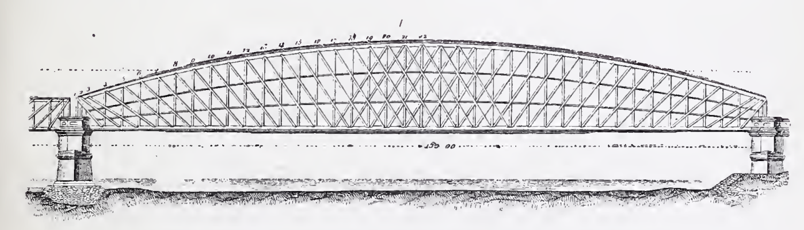


Fig. 103. — Pont de Kuilenburg. (Élévation de la grande travée.)

inférieures des poutres principales, par l'intermédiaire d'axes en acier; leur flexion peut ainsi se produire librement sans entraîner aucune déformation des poutres. Une disposition analogue est aujourd'hui d'un emploi général en Russie. Dans le pont de Baanhœk, construit après les ponts de Rhenen et de Heumen, les entretoises sont encore rivées aux montants verticaux, mais on a renforcé dans chaque poutre, du côté placé à l'intérieur du pont, les parois verticales des âmes des caissons qui constituent les semelles et les fers plats qui forment les diagonales.

Une autre particularité à signaler est la suppression des longrines et traverses en bois, et leur remplacement par des traverses en fer d'un profil spécial (fers zorés), boulonnées ou rivées sur les longerons.

Pont de Kuilenburg (1868). — Ce pont, établi sur le Leck, comprend sept travées de 57 mètres d'ouverture, une de 80 mètres

et une de 150 mètres (fig. 103). La largeur du pont permet d'établir deux voies de fer.

La hauteur de la grande travée est d'environ 20 mètres en son milieu, et de 8m,37 à l'entrée; ses semelles ont 1m,80 de largeur, et le nombre de leurs plates-bandes va en augmentant depuis la pile jusqu'au milieu du pont. Chaque poutre est composée de deux âmes verticales, elle est du troisième ordre; les montants verticaux travaillant tous à la compression ont une section en forme de double T qui va en augmentant du milieu jusqu'aux extrémités ; les diagonales travaillant exclusivement à la traction, sauf vers le milieu où elles sont croisées, ont la forme de rectangles, et leur section va en diminuant vers le centre. Les pièces de pont sont fixées au droit des verticales ; elles sont reliées par quatre cours de longerons. Un plancher recouvre le tout.

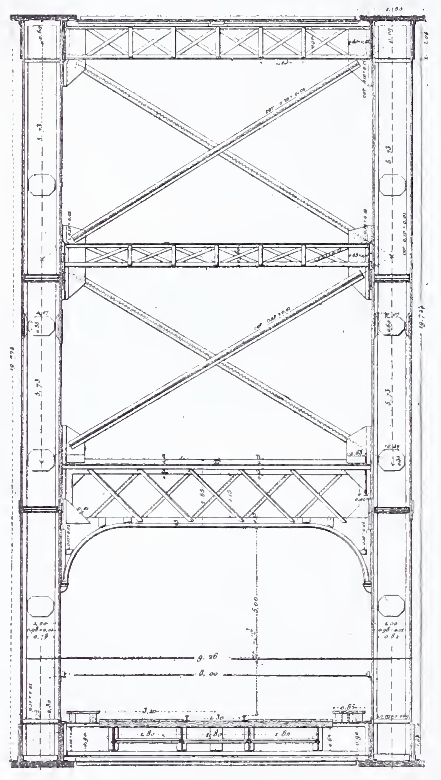


Fig. 104. — Pont de Kuilenburg.
(Coupe transversale de la grande travée.)

Des pièces formées de cornières adossées et constituant des doubles croix contreventent horizontalement la partie inférieure et la partie supérieure. Verticalement les deux poutres sont reliées au-dessus des voies : 1° sur toute l'étendue de la travée par une entretoise de grande hauteur; 2° par des entretoises en treillis de moindre hauteur, au nombre d'une ou de deux, sui-

vant la hauteur de la poutre. Ces diverses entretoises sont rattachées par des croix de Saint-André (fig. 104).

Les semelles supérieures de la travée de 80 mètres et des travées de 57 mètres ne sont pas curvilignes.

Toutes les travées sont indépendantes; leurs extrémités reposent sur des appareils articulés.

Pont de Moerdyck (1871). — Ce pont, sur le Hollandsch Diep, est remarquable par sa longueur qui est de 1,480 mètres. Il comprend quatorze travées de 100 mètres d'ouverture et un pont tournant à double volée. Il est à une seule voie.

Les travées sont indépendantes et ont des dispositions analogues à la grande travée du pont de Kuilenburg, aux dimensions près. Leur hauteur au milieu est de $12^{m},26$; les semelles ont une largeur de $1^{m},01$. L'âme des verticales est évidée dans la partie centrale. Les diagonales sont du système double et sont formées de lames plates.

Les fondations à l'air comprimé de quelques-unes des piles ont été faites par la maison française Gouin.

Nous trouvons dans Morandière les détails suivants sur la mise en place des travées :

Pour cette mise en place sur les piles on s'est servi habilement des marées. Chaque travée était construite sur la rive, et on amenait au-dessous d'elle, par un canal, des pontons qui la soulevaient. La hauteur était réglée, par relevages successifs, à un niveau supérieur à celui qu'elle devait occuper; puis, au moment d'une marée, on conduisait la travée à sa place et elle venait reposer sur les piles lorsque la mer baissait.

Le poids de la superstructure s'élève à 4,465 kilogrammes par mètre de débouché linéaire; le montant de la dépense pour l'ensemble du pont s'élève à environ douze millions.

Pont de Bommel (1869). — Le pont pour une voie construit sur le Wahal, près Bommel, se compose de huit travées de 57 mètres d'ouverture et de trois travées de 120 mètres. Toutes les travées sont indépendantes et du second ordre; les semelles

Fig. 105. — Pont de Dordrecht. (Élévation.)

supérieures des travées de 120 mètres sont curvilignes.

La hauteur des poutres des grandes travées est de 13^m,23 au milieu et de 7^m,155 à l'entrée. Les montants verticaux ont l'âme pleine, les diagonales sont formées de lames plates. Les pièces de pont et les longerons sous rails sont en acier; il en est de même des cornières formant le contreventement horizontal. Entre les rails, le plancher est en tôle striée.

Les petites travées sont en fer et ont une hauteur égale à celle d'entrée des grandes, soit 7^m,155.

Le poids d'une grande travée est d'environ 6,500 kilogrammes par mètre courant de débouché, celui d'une petite de 3,000 kilogrammes.

Le pont de Crèvecœur est d'une construction tout à fait analogue.

Pont de Dusseldorf (1871). — Le pont sur le Rhin, près de Dusseldorf, comprend quatre grandes travées de 103^m,62 d'ouverture, une travée tournante et dix-sept arches en maçonnerie de faible longueur. Il est à deux voies. Les grandes travées présentent aussi des analogies avec les ponts de Hollande. Cependant certaines différences existent. Les membrures sont formées de deux âmes verticales réunies entre elles par des plates-bandes horizontales, pleines vers le milieu de la travée, et séparées près des appuis; les montants verticaux sont en treillis. Les travées sont discontinues; toutefois, on a placé au-dessus des piles un châssis relié par des doubles contre-fiches aux extrémités supérieures des deux premiers montants des deux travées contiguës qui établit une sorte de solidarité entre elles. La hauteur au milieu des grandes travées est de 13^m,17. Leur poids est évalué à 6,700 kilogrammes environ

par mètre courant. La dépense pour l'ensemble de l'ouvrage s'est élevée à 4,250,000 francs.

Pont de Dordrecht (1872). — Construit sur la vieille Meuse, pour deux voies, le pont de Dordrecht est composé de quatre travées fixes à semelle supérieure courbe groupées par deux, et de deux ponts tournants à double volée (fig. 105). Deux des travées fixes ont une portée de 87m,64 ; les deux autres de 64m,54. Les poutres présentent à peu près l'aspect d'un solide d'égale résistance ; leur semelle supérieure a la forme d'une anse de panier. La hauteur

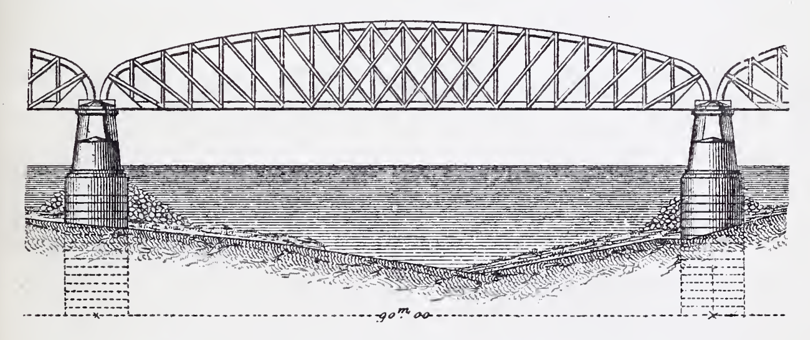


Fig. 106. — Pont de Rotterdam. (Élévation partielle.)

au deuxième montant vertical est déjà de 7m,65, et c'est à partir de ce montant que commence le contreventement supérieur.

Les âmes des montants verticaux sont en treillis, et les diagonales croisées s'étendent à une partie de la travée plus grande que dans les ponts que nous avons déjà décrits. A part cela, le mode de construction est le même.

Pont de Rotterdam (1876). — Ce pont pour deux voies, sur la nouvelle Meuse, comprend cinq travées à semelle supérieure courbe, dont trois à la partie centrale de 87m,40 de portée, et deux aux extrémités, de 64m,60, toutes indépendantes, et présentant les premières une hauteur de 14m,65, les autres une hauteur de 12m,53 au milieu, et une hauteur uniforme de 6m,65 aux extrémités (fig. 106). Ces extrémités ne sont plus arrondies comme dans

le pont de Dordrecht; les diagonales sont du premier ordre et se croisent dans la partie centrale de la travée. Les pièces de pont et les longerons sont en acier.

Le poids par mètre courant est de 8,000 kilogrammes environ pour les travées de $87^{m},40$, et de 5,356 kilogrammes pour les deux autres.

Un autre pont, jeté sur le Noorder Haven, comprend deux travées fixes de 80 mètres de longueur, et une travée tournante donnant des passages libres de 20 mètres.

Signalons que la superstructure métallique des travées fixes a été construite par l'usine française Cail.

Ponts d'Arnhem et de Nimègue (1878-1880). — Le pont d'Arnhem, sur le Rhin, construit pour deux voies, comprend deux travées à semelle supérieure courbe de $94^{m},49$ de portée, du premier ordre, présentant des hauteurs de $16^{m},326$ au milieu et de $6^{m},888$ à l'entrée, et cinq travées à semelles parallèles de $56^{m},825$ de portée, du premier ordre. Le poids par mètre courant est de 7,341 kilogrammes pour les grandes travées, et de 5,266 pour les autres.

Le pont de Nimègue, sur le Vahal, pour deux voies, comprend trois travées du second ordre de $131^{m},95$ de portée, ayant au milieu une hauteur de $21^{m},885$ et à l'entrée $7^{m},28$, et cinq travées absolument semblables à celles du pont d'Arnhem. Le poids par mètre courant des grandes travées est de 9,248 kilogrammes.

Viaduc de Trisana et Viaduc de l'Oetz. — Sur la ligne de l'Arlberg (Autriche) se trouvent deux importants ouvrages dont les poutres ont des semelles supérieures paraboliques avec verticales et tirants du premier ordre :

Le viaduc de Trisana a une travée métallique à semelle curviligne de 120 mètres de portée et des viaducs d'accès en maçonnerie. Le dessous des poutres est à 86 mètres au-dessus du niveau des eaux ;

Le viaduc de l'Oetz a une travée centrale à semelle curviligne de $81^{m},80$ de portée et deux travées d'accès à semelles rectilignes de 19 mètres de portée.

Pont sur la Rance (1879). — Ce pont, établi pour deux voies,

sur la Rance, près de Dinan, comprend une seule travée métallique de $98^{m},50$ de longueur, à semelles supérieures curvilignes.

La forme générale de cette travée rappelle celle des ponts de Hollande ; mais l'ouvrage en diffère notablement par le mode de construction. Il se compose de deux poutres principales portant la voie à leur partie inférieure par l'intermédiaire de longerons et de pièces de pont, et mesurant $7^{m},69$ de hauteur sur les culées et 12 mètres sur l'axe de la travée. Elles sont du type à croix de Saint-André avec montants verticaux ; leurs membrures supérieure et inférieure ont la forme de caissons. Elles sont reliées à leur partie supérieure par des entretoises renforcées par des consoles. Deux étages de contreventements sont disposés l'un au-dessus des entretoises supérieures et l'autre sous le plancher qui est en tôle striée.

C'est une partie du tablier du viaduc des Eaux minérales qui a servi d'avant-

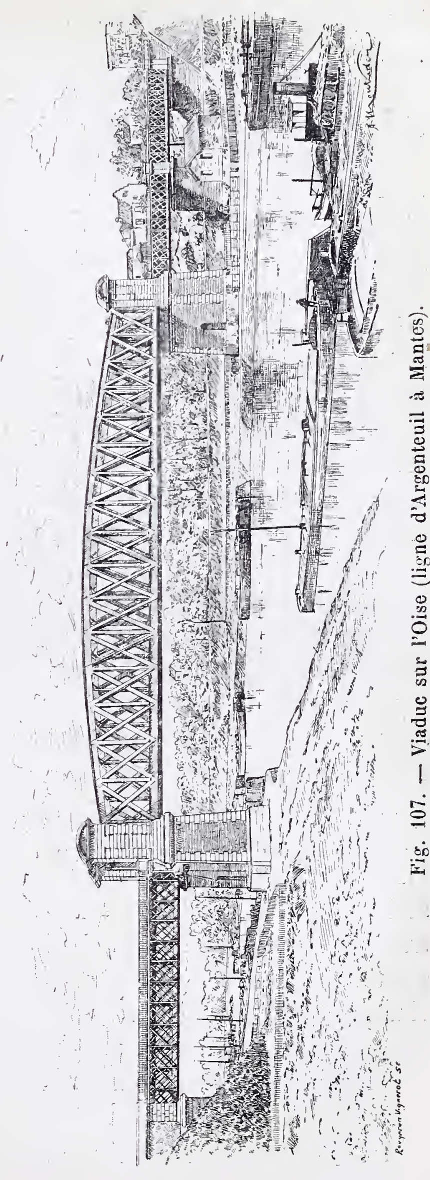


Fig. 107. — Viaduc sur l'Oise (ligne d'Argenteuil à Mantes).

bec pour le lançage : on a employé, pour cette opération, des rouleaux avec cannelures.

Le poids des tôles par mètre linéaire de débouché ressort à près de 11,000 kilogrammes. (Maison Jolly, d'Argenteuil.)

Viaduc de l'Oise (1892). — La Compagnie des chemins de fer de l'Ouest a construit pour la traversée de l'Oise par la ligne d'Argenteuil à Mantes un viaduc représenté par la figure 107. La grande travée, de $98^{m},50$ de longueur, rappelle, à quelques détails de construction près, les dispositions du pont sur la Rance. Elle a été mise en place au moyen d'échafaudages. Le poids par mètre linéaire du tablier de cette travée est de 10,480 kilogrammes. (Ingénieurs : MM. Clerc, Moïse, Bonnet. — Constructeur : Maison Eiffel.)

Pont de la Tay (1887) [1]. — Le nouveau pont de la Tay est, comme l'ancien, remarquable par son importance (fig. 108). On a cherché à donner une grande solidité à toutes les parties de l'ouvrage.

Les piles ont été établies juste en face de celles de l'ancien pont, à 20 mètres de distance de ces dernières. Le viaduc est établi pour deux voies ; sa longueur totale est de 3,200 mètres, dont 2,550 en ligne droite et 650 mètres en courbe de 422 mètres de rayon. Les rails sont à $24^{m},90$ au-dessus du niveau des hautes eaux à l'extrémité sud, et à $7^{m},50$ au-dessus de ce même niveau à l'extrémité nord ; le pont est en effet légèrement en pente dans le sens longitudinal. Le pont proprement dit, qui comprend treize travées de 70 mètres de portée chacune, dont quatre travées marinières pour le passage des grands navires, se raccorde de chaque côté à des viaducs d'accès : l'un, au sud, est formé de vingt-sept travées ; l'autre, au nord, en compte quarante-cinq ; ce qui donne au total quatre-vingt-cinq travées. Les portées des travées des viaducs d'accès varient de 15 à 51 mètres. Quelques-unes des travées de l'ancien pont ont été utilisées.

Les grandes travées nouvelles sont du système des ponts de

1. *Engineering*, *Railroad Gazette* et *Annales des Travaux publics*.

Hollande, avec semelles supérieures curvilignes et diagonales doubles. Elles ont une portée de 70 mètres.

Ce qui attire l'attention c'est la grande quantité de piles, et on s'étonne de ce fait, surtout lorsqu'on remarque que leur hauteur est souvent plus grande que la portée des travées qui les réunis-

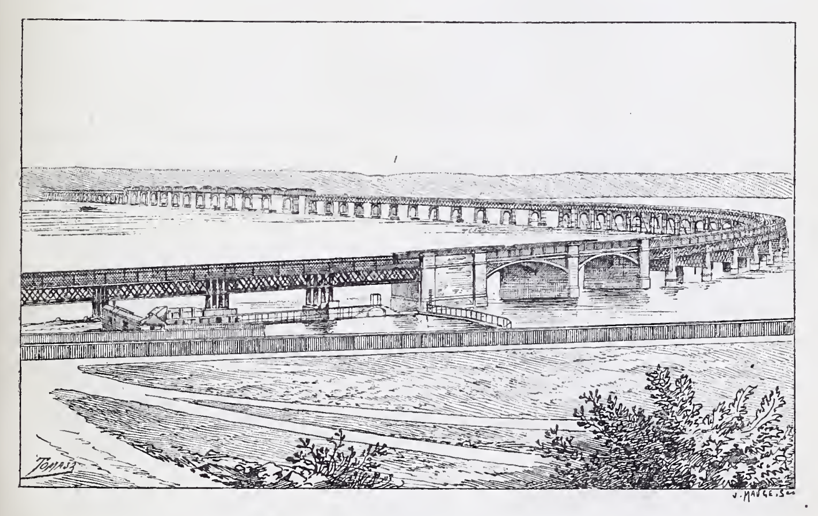


Fig. 108. — Pont de la Tay. (Vue générale.)

sent. Il en est résulté une augmentation peu justifiée du prix de revient de l'ouvrage.

A l'exception de onze travées faisant partie des viaducs d'accès, toutes les autres reposent sur des piles semblables à celles qui sont représentées figure 109. Elles comprennent deux colonnes réunies par une traverse un peu au-dessus du niveau de l'eau; sur ces colonnes repose une structure métallique en fer forgé dont la hauteur varie depuis 3 mètres jusqu'à 21 mètres et dont le sommet porte les poutres du pont.

La méthode adoptée pour l'établissement des colonnes constitue la partie la plus intéressante de la construction. La figure 110 donne une idée du dispositif imaginé par les entrepreneurs,

MM. Arrol. Un ponton rectangulaire possédait à chacune de ses extrémités des montants cylindriques et creux en fer forgé, le long desquels il pouvait glisser verticalement; lorsque ces montants étaient descendus de manière à reposer sur le lit du fleuve, on pouvait faire immerger le ponton destiné à supporter les machines-appareils de levage, matériaux et personnel employés à la construction des piles. Dans ce ponton étaient pratiquées deux ouvertures circulaires donnant passage aux caissons et servant à les maintenir dans leur position. L'excavation, à l'intérieur des dits caissons, était faite à l'aide d'appareils mus par la vapeur. Lorsqu'on avait terminé la mise en place et le remplissage des caissons, on enlevait les quatre montants servant de guides et de supports au ponton, et on s'en servait pour la construction d'une autre pile; pour effectuer ce transport on utilisait la marée. On s'est servi de quatre pontons pendant toute la durée des travaux.

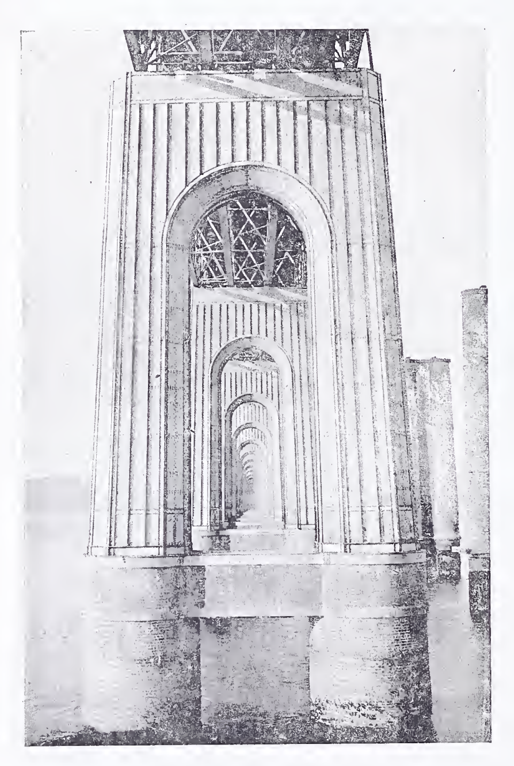


Fig. 109. — Pont de la Tay. (Vue des piles.)

Voici maintenant quelques détails sur les procédés employés pour le montage des poutres principales :

Dans la partie sud du viaduc on avait établi une passerelle

entre l'ancien et le nouveau pont, distants seulement de 18 à 20 mètres.

Les quatre poutres de la première travée sud (poutres neuves) ont été construites sur une plate-forme en porte-à-faux fixée sur l'ancien pont et on a fait glisser la première travée du nouveau pont dès que la première pile a été achevée. Dès que les piles suivantes ont été prêtes, on a enlevé les fers de l'ancien pont et on les a transportés sur le nouveau à l'aide d'un engin formé de deux pontons de 24 mètres de longueur, de $8^{m},50$ de largeur et de $2^{m},50$ de creux, reliés par des poutres transversales distantes de 6 mètres. Ces pontons portaient des colonnes creuses contenant des cylindres hydrauliques dont les têtes actionnaient des colonnes mobiles. Ces colonnes étaient au nombre de quatre, deux par ponton, et les deux colonnes d'un même ponton étaient entretoisées par des traverses. Un cadre commun réunissait les quatre colonnes à leur extrémité supérieure. On comprend dès lors que, pour transporter une travée de l'ancien pont, il suffisait de placer le ponton sous les poutres de cette travée à la marée montante, de laisser ensuite dériver le ponton chargé, sous l'action de la marée, et, lorsqu'il était arrivé à l'aplomb du nouveau pont, de faire descendre les supports ; les fers reposaient alors sur les piles du nouveau pont. Cette double manœuvre n'exigeait pas plus d'une demi-heure.

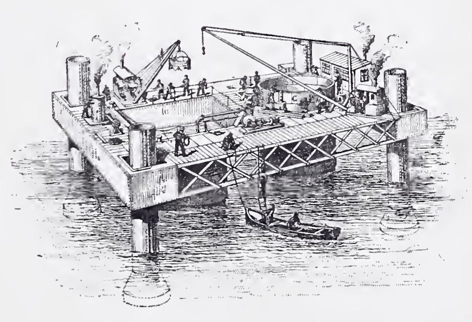


Fig. 110. — Pont de la Tay.
Ponton pour le fonçage des cylindres des piles.

Quant aux poutres neuves, elles étaient construites sur la rive et transportées jusqu'à ce qu'elles fussent dans le prolongement de leur position définitive. Ce transport s'effectuait à l'aide de chariots roulants munis de cylindres hydrauliques permettant d'effec-

tuer la descente des poutres sur les piles. La poutre posée sur le chariot roulant était refoulée par une locomotive sur la voie établie sur les travées déjà posées. On arrivait ainsi à l'emplacement fixé pour cette travée, et on effectuait les manœuvres nécessaires pour la poser sur ses supports définitifs.

Dans les parties du viaduc où les piles sont peu élevées, on a utilisé deux poutres de l'ancien pont; l'enlèvement de ces poutres s'est effectué à l'aide d'une ferme en bois formant pont de service entre l'une des piles de l'ancien pont et celle du nouveau qui lui correspondait. Sur le tablier de cette ferme circulait une grue roulante portant l'une des extrémités de la poutre à déplacer; l'autre extrémité de cette même poutre était portée par une grue installée sur un bateau à vapeur.

Enfin, pour la mise en place des travées centrales, on a dû employer une méthode particulière. Ces travées étaient construites sur un chantier spécial et amenées ensuite par flottage. On implantait sur chaque caisson de fondation deux pylônes métalliques solidement reliés à la pile et soigneusement contreventés qui servaient à opérer le levage.

Le pont de la Tay a été livré à la circulation en juin 1887; les travaux de reconstruction avaient été commencés en avril 1882. (Ingénieurs : MM. Barlow. — Constructeurs : MM. Arrol et Cie.)

Nous pouvons encore citer en Allemagne : le pont de Stettin sur le Zeglinstrom (1875), le pont sur l'Elbe à Niederwartha (1875), dont les poutres ont des semelles supérieures en forme de polygone inscrit dans une ellipse et dont les portées sont de 92 mètres et de 62^{m},60. Le dernier de ces ouvrages donne passage à la fois à une voie de fer et à une route, placées l'une à côté de l'autre.

Le pont d'Eller, sur la Moselle, se compose d'une travée principale et de cinq travées secondaires.

La travée principale a 88 mètres d'ouverture (fig. 111). Les poutres ont leur semelle supérieure en forme de polygone inscrit dans une ellipse et sont coupées carrément aux extrémités.

Une disposition particulière à cet ouvrage et dont nous ne connaissons aucun autre exemple est la position donnée au tablier qui est placé à la hauteur des extrémités des semelles supérieures,

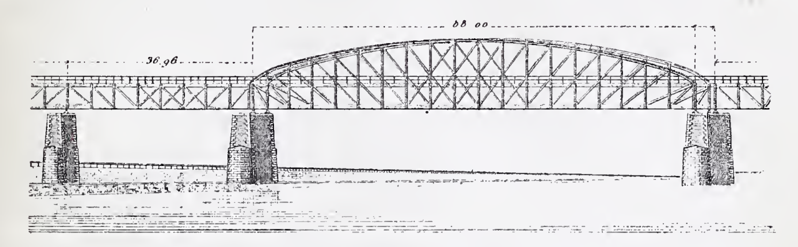


Fig. 111. — Pont d'Eller. (Élévation partielle.)

et par suite, environ au tiers de la hauteur maximum de la poutre. Il en résulte que le contreventement supérieur n'existe qu'entre les quatrième et seizième verticales.

Le poids par mètre courant de la travée principale est de 5,120 kilogrammes.

Les travées secondaires sont au nombre de trois sur la rive gauche et de deux sur la rive droite; elles ont de 36 à 41 mètres

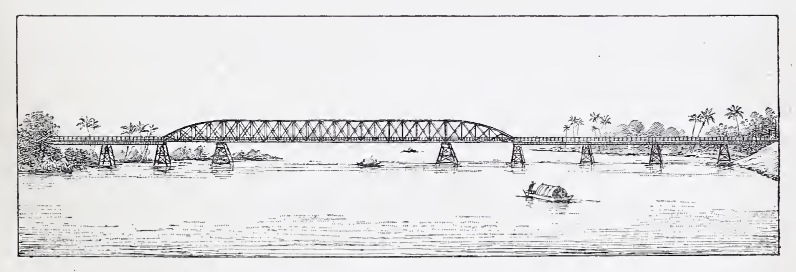


Fig. 112. — Pont de Tan-An (Cochinchine.)

de portée et sont solidaires, ce qui est une exception dans les ouvrages allemands. Leur poids par mètre courant est de 1,700 kilogrammes.

Pont de Tan-An. — Le pont de Tan-An, en Cochinchine, pour la ligne de Saïgon à Mythô, a une longueur de 221 mètres

qui comprend une travée de 80 mètres formant l'ouverture centrale (fig. 112).

La poutre présente un aspect analogue à celui des ponts de Hollande et d'Allemagne. En effet, la semelle supérieure est curviligne à ses extrémités ; mais elle est continue dans la grande travée et les deux petites travées adjacentes. Les piles sont faites de pieux à vis en fonte de près de 30 mètres de hauteur.

Le montage de la travée centrale s'est effectué en porte-à-faux, mais il s'est fait des deux côtés à la fois, et la rencontre des deux tronçons de la travée s'est opérée dans le vide, vers le milieu de l'ouverture, sans appui intermédiaire. C'est ce qui différencie ce montage de celui du pont-route de Cubzac, où la rencontre des deux travées s'est faite sur une pile (page 114). (Maison Eiffel.)

§ 3. — Types de ponts américains.

Ponts du système Warren. — Avant d'entrer dans la description des ponts américains, nous allons donner quelques indications sur le système de poutres inventé par le capitaine Warren en 1844. Car, bien que ce ne soit pas en Amérique que ce système ait été employé pour la première fois, il y a été presque exclusivement adopté dans la suite.

Ce système est principalement caractérisé par le mode de jonction des pièces. Il a été appliqué aux poutres triangulaires qui sont composées de plusieurs panneaux formés par des pièces ou diagonales disposées en triangles et soumises : les diagonales dirigées vers le milieu de la poutre à un effort d'extension ; celles dirigées vers les points d'appui à un effort de compression.

Dans le système Warren, les jonctions des pièces aux sommets des triangles, au lieu d'être assurées au moyen de rivets, le sont à l'aide de boulons d'articulation. Par suite de cette disposition, les divers efforts passant suivant l'axe des pièces sont mieux déterminés; le montage est aussi rendu plus facile et plus rapide, ce qui

a fait presque exclusivement adopter ce système en Amérique. Il est aussi très employé dans l'Inde anglaise.

Pont de Newark (1851). — Ce pont sur le Trent, en Angleterre, pour deux voies indépendantes, est du système Warren. Son ouverture est de $72^{m},29$.

Les parties soumises à la compression sont en fonte, et les parties travaillant à l'extension en fer. La semelle supérieure est en fonte; la semelle inférieure est composée d'une chaîne en lames de fer.

Grand Viaduc de Crumlin (1853). — Citons encore dans ce système le viaduc sur le chemin de fer de New-Port à Hereford (Angleterre), qui traverse la vallée de Crumlin.

C'est un des premiers viaducs à piles métalliques; il a été commencé en 1853. Différentes parties ont été renforcées en 1865.

Ce viaduc est à deux voies; il a 509 mètres de longueur, 65 mètres de hauteur maxima et $7^{m},32$ de largeur. Il est construit entièrement en fer, à l'exception des culées qui sont en maçonnerie, ainsi que les bases des piles. Le poids de la partie métallique est de 2,250 kilogrammes par mètre de portée.

Le tablier du viaduc est composé de travées discontinues en fer forgé, de $45^{m},75$ de longueur. La semelle supérieure est en tôle et cornières, et la semelle inférieure en lames de fer. Les diagonales tendues sont en lames plates et les diagonales comprimées ont une section en forme de croix. Ces diverses pièces sont assemblées au moyen d'articulations. Le tablier est supporté par huit piles de hauteur et de distances inégales, selon les accidents du sol.

Ces piles, construites par étages, sont composées de faisceaux de colonnettes en fonte réunies par des tringles en fer et des barres diagonales. Les colonnettes creuses ont chacune $5^{m},185$ de hauteur, sur $0^{m},305$ de diamètre et $0^{m},025$ d'épaisseur de fonte.

Cela dit, passons aux types de ponts américains proprement dits.

Ils sont ordinairement rangés en deux classes qui compren-

nent : la première, les ponts à poutre armée, dans lesquels la poutre est soutenue par un nombre plus ou moins grand de poinçons et de tirants ; la seconde, les ponts dont les poutres ont des semelles parallèles réunies par des pièces, tantôt les unes verticales et les autres inclinées, tantôt toutes inclinées ; dans quelques types ces pièces s'entre-croisent une ou plusieurs fois, dans d'autres elles ne se rejoignent qu'en certaines parties.

Dans la première catégorie se trouvent les poutres Fink et Bollmann ; dans la deuxième, les poutres Howe et Pratt, Whipple, Pettit, Linville, Post, la poutre isométrique ou à losanges, la poutre Warren ou triangulaire.

Ajoutons que l'on rencontre aussi en Amérique quelques spécimens du type bow-string, des ponts en arc et des ponts à consoles.

Quelques ponts suspendus supportent aussi des voies de fer (pont de Brooklyn, du Niagara, etc.).

Les ponts en treillis sont également employés depuis ces derniers temps en Amérique, surtout pour les petites ouvertures ; pour ces dernières, le type en tôle pleine s'est même généralisé.

Le pont de Victoria sur le Saint-Laurent est un exemple d'ouvrage important à poutres pleines du genre du pont Britannia en Angleterre.

Les ponts du type américain ne sont pas à proprement parler des ponts en tôle, on devrait plutôt les appeler des ponts à barres.

Conçues dans le type Warren, les poutres sont formées de systèmes articulés, de telle sorte que les efforts sont concentrés sur un nombre restreint de lignes d'action et dans le sens de la longueur des pièces.

Les ponts américains semblent présenter une certaine économie de métal sur les ponts de même ouverture adoptés en Europe. Ils offrent aussi un certain avantage au point de vue de la rapidité du montage due au système des articulations.

Les Américains ont cherché, dans la disposition des pièces de leurs ponts, à réaliser aussi exactement que possible les don-

nées de la théorie. Les semelles inférieures travaillant à la tension sont d'une manière générale formées de barres plates à œil réunies entre elles au moyen de boulons d'articulation; les barres inclinées travaillant de même à la tension ont une section plate ou ronde et s'assemblent sur les boulons. Les pièces qui travaillent à la compression présentent les formes les plus variées ; elles ont été faites d'abord en fonte, puis en tôle rivée et affectent la forme de tubes ou de colonnes à sections cylindriques, à pans coupés ou rectangulaires. Les différentes parties des tubes s'assemblent à leurs extrémités dans des boîtes en fonte.

Les diagonales et les montants sont assemblés par des articulations; ils sont réglés au moyen de boulons et de tendeurs.

Nous allons décrire quelques exemples intéressants des différents types dont nous venons de parler.

Pont de Decatur (Alabama). — Ce pont, pour une voie, comprend dix travées de 47^{m},28 et une travée tournante à double

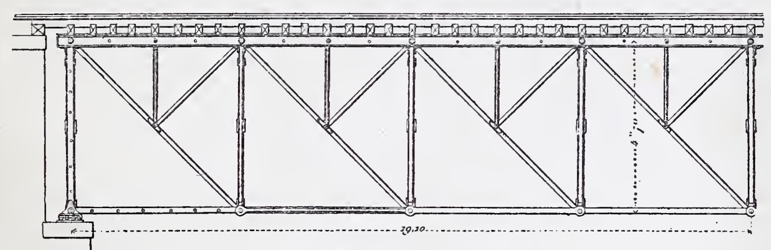


Fig. 113. — Pont de Mount-Union. (Élévation partielle.)

volée. Il est d'une construction très simple. La poutre est du système triangulaire simple, c'est une variété du système Warren. Les diagonales et la semelle supérieure, qui doivent être comprimées, sont en bois, les autres sont en fer.

Pont de Mount-Union. — Il comprend cinq travées de 37 mètres environ, du système Pettit (fig. 113). Il est établi pour deux voies situées à la partie supérieure. Il se compose de trois

fermes disposées de manière à répartir les charges d'une façon égale dans le cas du passage simultané de deux trains.

Pont de Nicholson. — Il comprend trois travées de 40 mètres

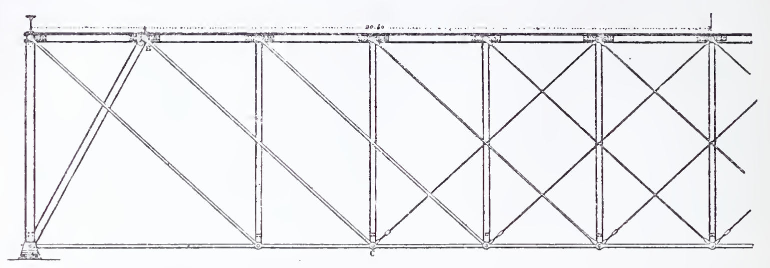


Fig. 114. — Pont de Nicholson. (Élévation partielle.)

environ de portée avec voie unique à la partie supérieure. C'est un exemple du type Whipple-Linville (fig. 114).

Les poutres ont $6^{m},10$ de hauteur; leur semelle supérieure est formée de deux fers en U; la semelle inférieure est formée de barres.

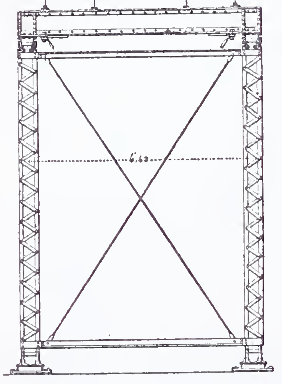


Fig. 115. — Pont de Nicholson. (Coupe transversale.)

Les montants verticaux sont constitués par deux fers en U reliés par des chevrons. Les pièces de pont, en tôle et cornières, reposent sur la semelle supérieure et supportent quatre cours de longerons sur lesquels s'appuient les traverses (fig. 115). Le dernier montant vertical est supprimé, et la dernière pièce de pont est soutenue par une contre-fiche.

Le poids du métal s'élève à 2,058 kilogrammes par mètre courant. L'exécution complète du pont a été effectuée en trente-trois jours seulement.

Pont de Rockville (1877). — Ce pont, construit sur la Susquehanna, est du type triangulaire à angles droits; il porte deux voies à la partie supérieure. Il comprend vingt-trois travées de $48^{m},80$.

Le pont a été exécuté en six mois, à dater de la commande.

Nous n'avons vu jusqu'ici que des ponts de portée moyenne; nous allons maintenant passer en revue les ouvrages américains à grandes ouvertures.

Pont sur le Monongahela (1852). — Ce pont est du type Fink (fig. 116) et se compose de trois travées de 60 mètres d'ouverture à voie unique. Comme la voie passe à la partie inférieure, on a dû relier les poinçons entre eux par une deuxième semelle placée à leur extrémité basse. La semelle supérieure est en fonte ainsi que les montants verticaux comprimés. Les diagonales ou tirants sont en fer rond. Toutes les jonctions sont à articulations.

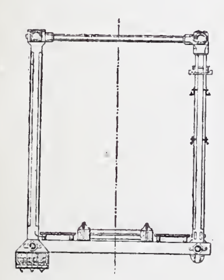
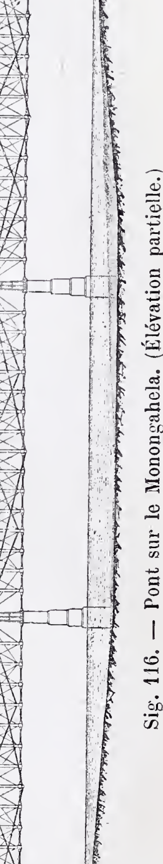


Fig. 117. — Pont sur le Monongahela. (Demi-coupe.)

Il n'existe pas de pièces de pont ni de longerons; ce sont de fortes traverses en bois qui constituent les pièces de pont; elles s'appuient sur une pièce de fonte suspendue aux diagonales, et leur écartement est maintenu par des pièces de fonte horizontales (fig. 117). Des croix de Saint-André, formées de tirants en fer rond, constituent les contreventements inférieur et supérieur.

Toute la travée est suspendue au moyen de maillons permettant la dilatation sur les chapiteaux qui terminent les portiques en fonte situés au-dessus des piles.



Sig. 116. — Pont sur le Monongahela. (Élévation partielle.)

Le poids par mètre courant est de 3,700 kilogrammes. La dépense totale s'est élevée à 977 francs environ par mètre courant de voie.

Parmi les autres applications du système Fink, nous citerons les ponts de Green River, de Louisville sur l'Ohio, de Saint-Charles

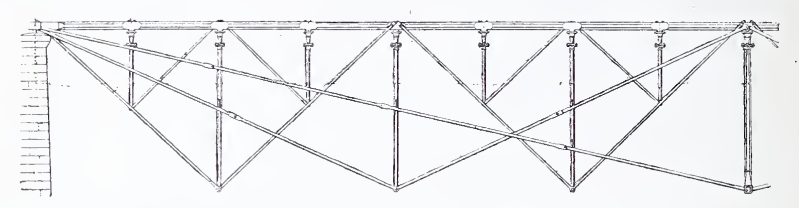


Fig. 118. — Pont de Green-River. (Demi-élévation de la travée.)

sur le Missouri, mais dans ces ouvrages la voie est disposée à la partie supérieure. C'est d'ailleurs la disposition qui semble exclusivement adoptée aujourd'hui.

Pont de Green-River. — Dans ce pont, établi pour la ligne de Louisville à Nashville, à une voie, la semelle inférieure est supprimée, et les poinçons intermédiaires ont été raccourcis. La travée a une portée de $62^m,86$ et une hauteur de $7^m,33$ (fig. 118). La semelle supérieure et les montants verticaux sont en fonte.

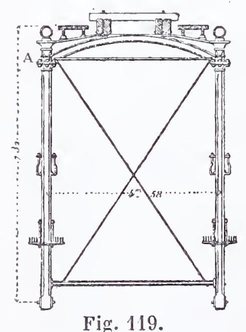


Fig. 119.
Pont de Green-River.
(Coupe transversale.)

Les pièces de pont sont formées par un arc en fonte sous-tendu par une barre de fer ; elles supportent deux files de longrines sur lesquelles reposent les traverses de la voie (fig. 119).

Les extrémités des fermes s'appuient sur les culées par l'intermédiaire de secteurs qui peuvent s'incliner et se déplacer longitudinalement. Les poinçons sont munis de coins qui permettent de raidir les tirants en réglant la longueur des poinçons.

Des croix de Saint-André en fers ronds forment le contreventement.

Deux petits trottoirs sans garde-corps permettent la circulation à pied ; le plancher n'existe pas entre les rails.

Pont de Saint-Charles, sur le Missouri (1871). — Ce pont, à une voie, comprend trois travées principales du type à losanges, de 93 mètres d'ouverture, et quatre travées du type Fink de 90 mètres de portée environ (fig. 120), et enfin des viaducs métalliques sur les deux rives du Missouri ; la longueur totale de l'ouvrage atteint 2 kilomètres. Les travées sont à environ 25 mètres au-dessus du niveau moyen du fleuve.

La semelle supérieure est en fonte dans les travées du système Fink. Dans les travées du type à losanges, où la voie est à la partie inférieure, les semelles supérieures sont constituées par des colonnes en fonte ; la semelle inférieure est en barres de fer. Les diagonales qui travaillent à la compression sont des colonnes en tôles et cornières, légèrement renflées au centre ; les tirants sont des barres plates en fer ou des fers plats réunis par un treillis. Les poutres sont espacées de $5^{m},40$ d'axe en axe.

Les traverses qui supportent la voie reposent sur des barres de fer en U placées entre les barres de la semelle inférieure. Le poids de la partie métallique des travées isométriques est d'environ 3,200 kilogrammes par mètre courant ; le prix a atteint 4,200 francs. (Ingénieur : M. Shaler Smith.)

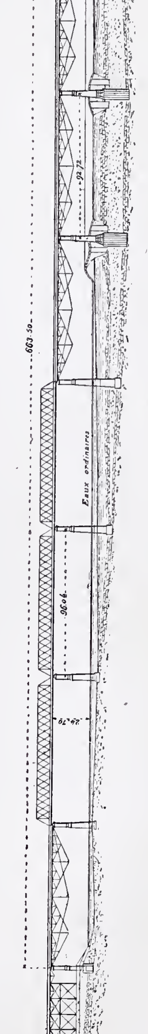


Fig. 120. — Pont de Saint-Charles, sur le Missouri. (Élévation partielle.)

Pont de Louisville (1870). — Le pont des chutes de l'Ohio, près de Louisville, pour une voie (fig. 121), se compose de vingt-cinq travées fixes et

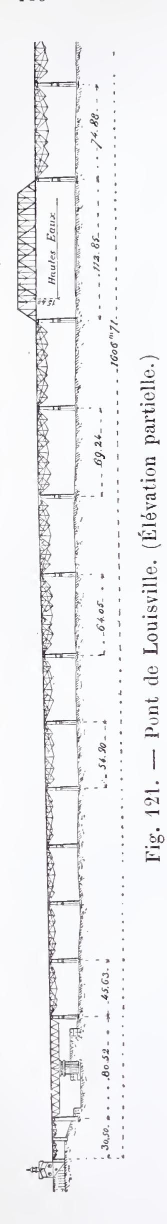


Fig. 121. — Pont de Louisville. (Élévation partielle.)

d'une travée tournante à double volée. L'ouvrage a une longueur totale de 1,607 mètres. Deux des plus grandes travées sont construites dans le système triangulaire composé; elles présentent des longueurs de 112 et de 122 mètres; les autres travées de l'ouvrage sont presque toutes du système Fink et leurs ouvertures varient de 45 à 75 mètres.

Les deux poutres de la travée de 122 mètres comprennent chacune sept triangles dont les bases forment la semelle inférieure, constituée par des barres de fer à œil et six autres triangles renversés dont les bases forment la semelle supérieure qui est en fonte. Des contre-fiches se rencontrant au milieu des côtés des triangles renforcent la partie supérieure des poutres. Chaque poutre est double (fig. 121). Des montants verticaux partant soit du pied, soit du milieu des diagonales, soutiennent la semelle supérieure et s'opposent à sa flexion. Un contreventement existe à la partie inférieure et à la partie supérieure. Il n'y a pas de plancher dans le milieu du pont sur une largeur de plus de 4 mètres. Le poids par mètre linéaire a été de 6,040 kilogrammes pour la grande travée de 118 mètres. (Ingénieurs : MM. Fink et Vaughan.)

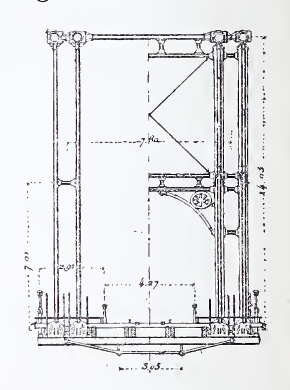


Fig. 122.
Pont de Louisville.
(Coupe transversale.)

Le système Linville est très usité en Amérique. Nous y trouvons un grand nombre d'ouvrages importants, mais à travées d'ouvertures faibles, de ce

genre (pont du Niagara, viaduc de Kinzua). C'est aussi ce système qui a été employé pour les plus grandes portées. C'est ainsi qu'on le rencontre dans la constitution des ponts de Cincinnati (158 mètres), Newport (126 mètres), Parkesburg (106 mètres), Benwood (106 mètres), etc.

Pont sur le Niagara (1874). — Le pont international pour chemin de fer jeté sur le Niagara près de Buffalo, et non loin du grand pont suspendu, a 738 mètres de longueur en deux bras, et comprend onze travées de longueurs variant de 33 à 75 mètres.

Chaque bras a sa travée tournante à double volée. Deux des travées, de $55^{m},16$, forment un grand pont tournant ayant $109^{m},12$ entre les supports, et dont les poutres, du système Linville, ont 11 mètres de hauteur au milieu. Le mouvement de rotation est donné par une locomobile à vapeur.

Les autres poutres sont également du système Linville et ont une hauteur uniforme de $7^{m},92$.

Pour la mise en place de l'ouvrage on s'est servi d'un échafaudage flottant formé d'une plate-forme supportée par des pontons. Le pont en fer fut halé sur cette plate-forme et amené en place. Aussitôt le levage d'une travée terminée, on submergeait les pontons et on les retirait de dessous l'échafaudage; ce dernier, qui restait suspendu à la poutre de pont mise en place, était ensuite démonté pour servir au montage de la travée suivante.

Pont de Cincinnati (1877). — Le pont de Cincinnati, sur l'Ohio, comprend onze travées à une voie, du système Linville, dont une est double et tournante. Une travée a $158^{m},30$ de longueur (fig. 123) ; c'est celle que nous allons décrire. Sa hauteur est de $15^{m},70$ d'axe en axe des boulons d'articulation.

Fig. 123. — Pont de Cincinnati. (Élévation générale.)

Les deux poutres qui sont formées d'un double système juxtaposé, afin d'avoir la résistance voulue, sont écartées de $6^{m},10$ et portent la voie à leur partie inférieure. La semelle supérieure est formée de quatre cours de poutres en tôle et cornières en forme de double T. La semelle inférieure est composée de barres en fer ; il en est de même des tirants ou diagonales.

Les montants verticaux sont doubles et sont constitués par deux caissons en tôle reliés aux extrémités et au milieu; ils reposent à leur base sur la face supérieure de l'œil de plusieurs barres horizontales. Le montant incliné a une section qui diffère peu de celle de la semelle supérieure. Les pièces de pont en forme de double T, en tôle et cornières, sont reliées par quatre cours de longerons qui supportent les traverses sur lesquelles est fixée la voie; elles sont suspendues aux boulons d'articulation au moyen de deux étriers à chaque bout.

Des garde-rails en bois renforcés par des cornières ont pour but d'empêcher, en cas de déraillement, les véhicules de venir frapper les pièces constituant les poutres.

Une lisse est placée à mi-hauteur de la poutre et empêche le *flambage* des montants et diagonales.

Les poutres sont contreventées dans la partie supérieure.

Le poids du métal par mètre courant pour cette grande travée est de 7,500 kilogrammes. (Ingénieurs : MM. Linville, Lovett et Bouscaren.)

Viaduc de Kinzua (1882). — Ce viaduc, sur la ligne de New-York au lac Erié, a $625^{m},86$ de longueur, et sa hauteur, du niveau de l'eau au rail, est de près de 92 mètres. Cette hauteur n'a été dépassée jusqu'ici que par le viaduc de Garabit et le viaduc de Loa (Amérique). Les vingt et une travées de $18^{m},60$ qui composent le viaduc de Kinzua sont supportées par vingt piles-colonnes métalliques ayant $11^{m},74$ de largeur. L'écartement des arbalétriers dans le sens transversal des piles, de 3 mètres au sommet, atteint $31^{m},40$ à la base. Leur fruit est nul dans le sens de la longueur. Un troisième arbalétrier raidit les entretoises horizontales dans leur milieu,

mais seulement sur une partie de la hauteur des piles. Le montage a été effectué au moyen de grues, sans échafaudage, et a duré trois mois. (M. O. Chanute, Ingénieur en chef.)

Viaduc de Loa. — Ce viaduc, sur le chemin de fer d'Antofagasta (Chili), a été exécuté sur le modèle du viaduc de Kinzua, quelques années plus tard. Sa longueur totale est de 244 mètres avec des travées ne dépassant pas $24^{m},40$ d'ouverture. Mais la hauteur des piles, qui atteint $96^{m},25$, est supérieure à celle des piles du viaduc de Kinzua dont la plus élevée est de 85 mètres. La hauteur du viaduc de Loa au-dessus de l'eau est de $102^{m},50$.

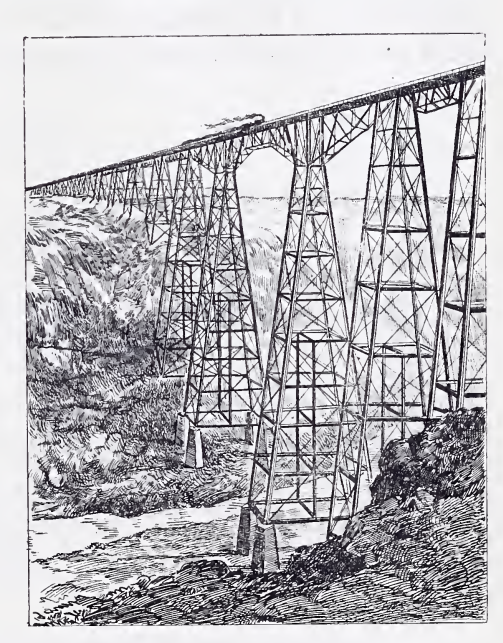
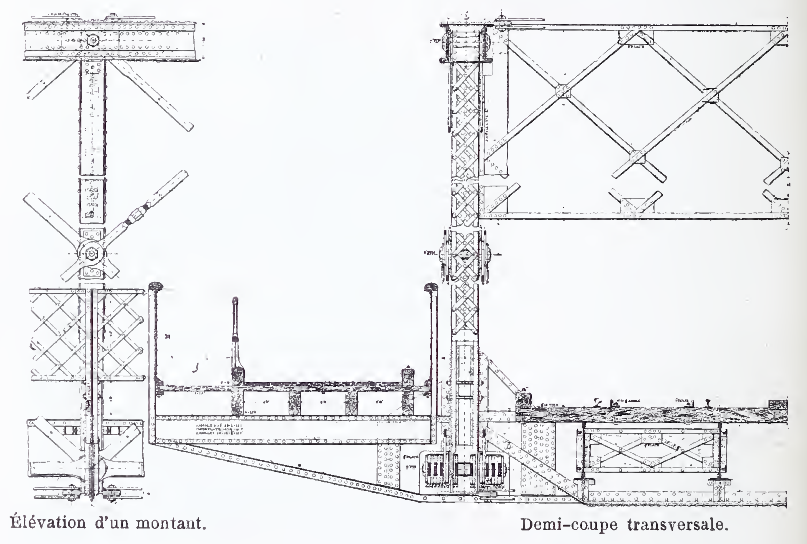


Fig. 124. — Viaduc de Pecos (États-Unis.)

Viaduc de Pecos, États-Unis (1893). — Le viaduc de Pecos, sur le réseau du Southern Pacific, est du même modèle que les viaducs de Kinzua et de Loa. Sa longueur totale, de 665 mètres, comprend : trente-quatre travées de $10^{m},65$ de longueur, une de 14 mètres, huit de $19^{m},80$; enfin deux *cantilevers* (voir page 170) de $31^{m},25$, deux de $21^{m},35$ et une poutre de jonction centrale entre les deux cantilevers de $24^{m},15$ de portée. Notons que les poutres des trente-quatre travées de $10^{m},65$ sont à âme pleine et celles des travées de $19^{m},80$ en treillis. La largeur du pont d'axe en axe des poutres est de 3 mètres.

Ce qui caractérise le viaduc de Pecos, ce sont les palées en acier qui supportent le tablier (fig. 124). Elles sont formées de quatre arbalétriers en fer Z ou en tôle et cornières portés chacun par un massif isolé en pierre. Les arbalétriers sont reliés entre eux par des entretoisements diagonaux et horizontaux ; dans la partie inférieure, les entretoises horizontales sont reliées en leur milieu par un montant vertical. Le fruit des arbalétriers est de 1/6.



Élévation d'un montant. Demi-coupe transversale.

Fig. 125. — Nouveau pont d'Omaha, sur le Missouri.

La hauteur de la plus haute palée est de 73^{m},50 ; la hauteur du tablier au-dessus de l'eau étant de 98 mètres. Le poids total de l'ouvrage est de 1,849 tonnes. Le montage entier de l'ouvrage n'a duré que 87 jours avec une moyenne de 65 ouvriers.

Les Américains ont construit récemment un certain nombre de ponts des types Linville et Whipple parmi lesquels nous citerons : le pont Blair Crossing, le nouveau pont d'Omaha, le pont de Cairo, construits par M. l'ingénieur en chef Geo. S. Morison.

Pont Blair Crossing (1886). — Ce pont, construit sur le Missouri, a une longueur totale de 400 mètres, comprenant trois travées de 103 mètres d'ouverture et deux travées d'approche, l'une de 40 mètres, l'autre de 50 mètres. Il est à une voie ; la largeur d'axe en axe des poutres étant de 7 mètres. Les poutres des travées principales sont du type dit *double système Whipple,* avec des barres de bout inclinées ; leur hauteur est de $13^m,42$.

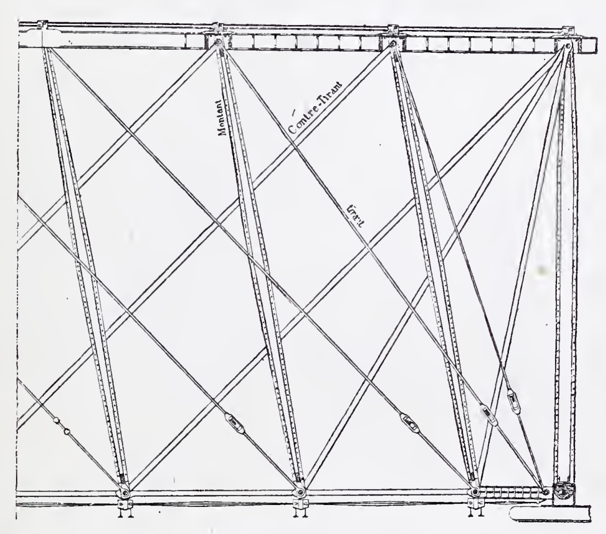


Fig. 126. —Ancien pont d'Omaha, sur le Missouri.
(Élévation partielle d'une travée.)

Chacune des grandes travées pèse 361,200 kilogrammes. L'ouvrage total a coûté 5,900,000 francs.

Nouveau pont d'Omaha (1887). — Le nouveau pont d'Omaha, sur le Missouri, est composé de quatre travées de 86 mètres d'ouverture et de six travées de 42 mètres. Il est à double voie. La largeur totale du pont est de 18 mètres environ, comprenant : entre les deux poutres principales un passage de $9^m,80$ de largeur pour deux voies de fer et, de chaque côté des poutres et en encorbellement, une route avec trottoir de $4^m,20$ de largeur. Nous

donnons (fig. 125), pour montrer les modes de jonction des pièces des ponts américains, une demi-coupe en travers des grandes travées et l'élévation d'un montant.

La hauteur des poutres des travées de 86 mètres est de $12^m,20$.

Pont sur l'Ohio, à Cairo (1889). — Le pont de Cairo (Illinois) est un ouvrage d'une très grande importance. Sa longueur totale est de 3,220 mètres, c'est-à-dire plus grande que celle du pont sur la Tay (Angleterre) qui est de 3,200 mètres ; elle se compose de deux travées de 160 mètres d'ouverture, de sept travées de 123 mètres et de quarante-trois travées variant de 78 à 32 mètres. Les travées sont à simple voie et ont une largeur de $8^m,75$ d'axe en axe des poutres. Ces dernières ont une hauteur de $18^m,60$ dans les travées principales.

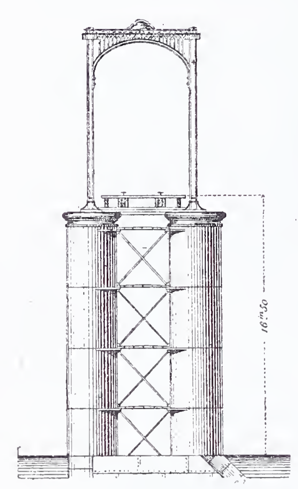


Fig. 127.
Ancien pont d'Omaha.
(Coupe transversale.)

La superstructure du pont est en acier. Les travées de 160 mètres pèsent chacune 936 tonnes. Les dépenses de construction de tout l'ouvrage se sont élevées à 14 millions de francs.

Ancien pont d'Omaha (1870). — Ce pont, sur le Missouri, comprend onze travées de $76^m,25$ d'ouverture pour une seule voie (fig. 127). La poutre est du système Post (fig. 126). Ce système diffère du système Linville en ce que les montants comprimés sont légèrement inclinés au lieu d'être verticaux. La semelle supérieure est en fonte et a la forme d'un caisson. La semelle inférieure et les tirants sont constitués par des lames de fer. Les montants comprimés présentent l'aspect de fuseaux; ils sont en tôle. Les pièces de pont, en fer à double T, sont suspendues aux axes d'articulation par des étriers. Le contreventement est formé par des croix de Saint-André en fers ronds et aussi par des entretoises en tôle à la partie supérieure.

Le poids du métal s'élève à 2,580 kilogrammes par mètre courant.

On peut citer un grand nombre d'ouvrages importants du type Post, entre autres les ponts de Leavenworth formés de quatre travées dont deux de 96 mètres et deux de 102 mètres, et le pont de Boonville à neuf travées de 78 mètres.

Chemin de fer métropolitain surélevé de New-York. —

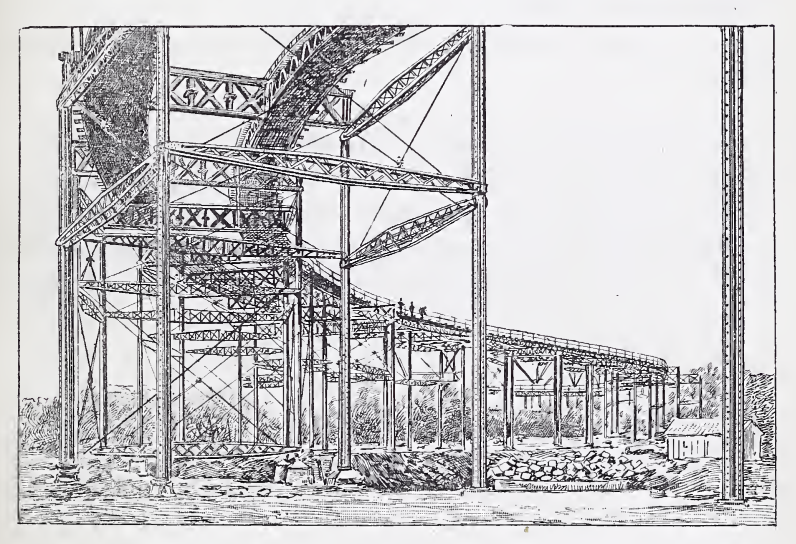


Fig. 128. — Chemin de fer métropolitain de New-York.

La figure 128 montre le mode de construction de ce chemin de fer qui n'a pas laissé que de présenter des difficultés spéciales.

Bien que la vitesse des trains sur le Métropolitain de New-York ne soit pas élevée, les courts intervalles qui séparent le passage de deux trains laisse à peine quelque repos au métal du viaduc. De là une fatigue de ce métal que l'on a dû prendre en sérieuse considération. Cet incessant travail des pièces donne naissance à des usures dans leurs liaisons, particulièrement dans les parties courbes

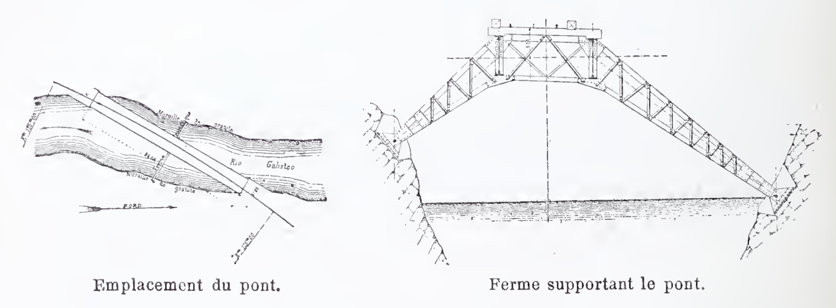
du viaduc dont quelques-unes sont suivies d'autres courbes en sens contraire, et cela à de grandes hauteurs, ainsi que le représente la figure 128.

La superstructure de l'ouvrage est supportée par des colonnes du type *Phœnix,* dont la caractéristique est de présenter une grande stabilité et une grande résistance à la compression. Les entretoisements transversal et latéral aussi bien que l'entretoisement longitudinal des colonnes sont établis de façon à produire toutes les résistances voulues.

La longueur du Métropolitain exploitée aujourd'hui est de $51^{km},5$.

Les systèmes de ponts américains présentent certainement quelques dispositions heureuses et on ne voit pas pourquoi ils ne pourraient pas être appliqués avec avantage dans d'autres pays.

Types particuliers de ponts employés aux États-Unis d'Amérique[1]. — Les « *Transactions* de la Société des ingénieurs civils



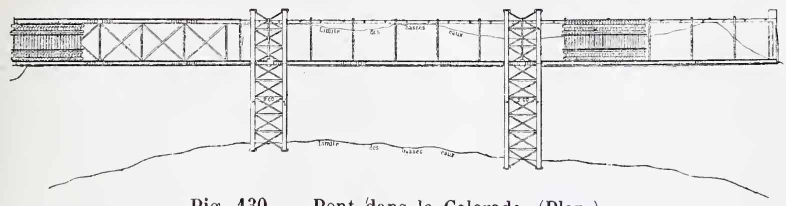
Emplacement du pont. Ferme supportant le pont.

Fig. 129. — Pont dans le comté de Santa-Fé.

d'Amérique » ont donné le dessin et la description sommaire de deux ponts pour chemins de fer qui, par suite de la position topographique, ont présenté certaines particularités de construction que nous croyons intéressant de faire connaître.

1. *Revue générale des chemins de fer.*

L'un de ces ponts se trouve près de Lamy, dans le comté de Santa-Fé, New-Mexico. Comme l'indique la figure 129, il s'agissait de traverser une rivière encaissée entre deux hautes murailles de granit sous un biais très prononcé. Le pont de 32^m,08 d'ouverture



Pig. 130. — Pont dans le Colorado. (Plan.)

totale se trouve sur une courbe de 175 mètres de rayon et repose sur deux culées en maçonnerie fondées sur chaque rive de la rivière. La partie métallique se compose de deux poutres longitudinales espacées de 3^m,05 d'axe en axe et reposant au milieu de l'ouverture sur une ferme métallique s'appuyant elle-même sur les parois qui bordent le cañon (fig. 129). La voie repose au moyen de traverses en bois sur les deux poutres longitudinales.

Le second se trouve dans le grand cañon situé sur la rivière Arkansas, dans le comté de Frémont, Colorado. Comme l'indique la figure 130, le pont, après avoir traversé une crevasse qui se trouve dans la paroi verticale du cañon, suit longitudinalement le cours du torrent en s'appuyant d'un côté sur la paroi en granit et de l'autre sur une poutre pleine, suspendue en deux endroits à des fermes triangulaires métalliques, s'appuyant par leur base sur les parois en granit (fig. 131). La poutre de 85^m,15 de longueur

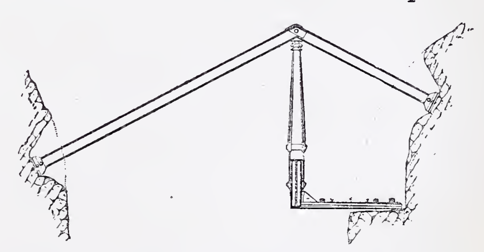


Fig. 131. — Pont dans le Colorado. (Coupe transversale.)

se trouve ainsi divisée en trois ouvertures dont les extrêmes ont $28^m,70$ de portée et celle du milieu $27^m,75$.

§ 4. — Ponts à consoles.

C'est le système dont les applications en Angleterre et en Amérique sont connues sous le nom de *cantilever*, et dont l'exemple le plus remarquable est le pont du Forth.

Depuis la conception du projet du Forth, on a exécuté plusieurs ouvrages similaires, tels que les ponts sur le Niagara et le Kentucky, et MM. Fowler et Baker, les auteurs du projet du Forth, ont ainsi propagé le système du cantilever; mais ils ne revendiquent pas la priorité de l'application de ce système.

L'emploi du cantilever était connu depuis longtemps en Chine, au Japon et dans l'Amérique du Nord. En 1871, sur les données de l'ingénieur autrichien Gerber, on construisit un pont du même genre à Vilshofen, sur le Danube (Bavière). Toutefois, il convient d'attribuer à MM. Fowler et Baker le mérite d'avoir conçu un ouvrage de dimensions inusitées jusqu'à ce jour.

D B A C

Fig. 132. — Pont de Vilshofen. (Élévation.)

Pont de Vilshofen (1872). — La figure 132 met en évidence le principe appliqué au pont de Vilshofen : une poutre AB déborde les deux appuis sur lesquels elle repose et supporte des poutres AC et BD s'appuyant sur ses extrémités; en outre, grâce à son poids mort, elle supporte une charge roulante portée par l'une quelconque de ces deux dernières poutres.

Le pont de Vilshofen, pour route, est composé de cinq travées, dont une centrale de $64^m,50$, et quatre de $51^m,60$. La poutre a l'apparence d'une

poutre continue à treillis, mais elle en diffère en ce qu'elle est discontinue aux points A, B, C, D, où elle est coupée, sauf à la semelle inférieure qui se continue par une tôle.

La hauteur des poutres est de 7 mètres ; la largeur libre pour la route est de $6^m,40$. (M. Gerber, Ingénieur.)

Pont sur la Warthe (1875). — Le pont de Posen, pour voie de fer, sur la Warthe, est d'un type qui dérive de celui du pont de Vilshofen, et est dû au même ingénieur, M. Gerber. Il se compose de trois travées de 35 mètres environ d'ouverture.

La travée centrale se prolonge au delà des deux piles, et forme ainsi deux consoles sur lesquelles viennent s'appuyer les

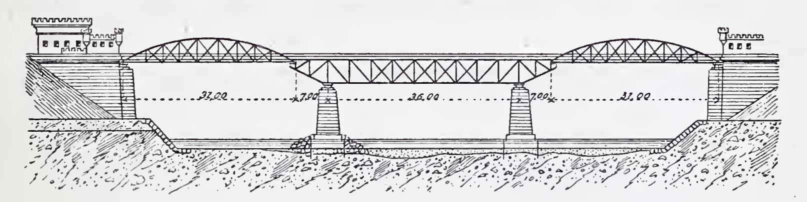


Fig. 133. — Pont de Posen. (Élévation générale.)

extrémités des travées de rive. La longueur de chaque console est déterminée de telle sorte que le poids de la travée centrale fasse équilibre au poids du train roulant sur la travée de rive.

Viaduc de Dixville (1877). — Ce viaduc, pour voie de fer, franchit la rivière du Kentucky à 84 mètres au-dessus du fond de la vallée.

Il se compose de trois travées de $114^m,40$ de portée ; les piles sont métalliques sur une hauteur de 54 mètres. Les poutres, de $11^m,40$ de hauteur, sont du type Linville et portent la voie à la partie supérieure.

La travée centrale se prolonge de $22^m,40$ de chaque côté des piles, et sur ses extrémités viennent s'appuyer les travées de rive au moyen d'articulations qui sont placées sur les semelles supérieures pour mieux établir la continuité au passage des charges roulantes.

Les piles portent à leur sommet un axe qui forme charnière.

Le poids par mètre courant de la travée centrale est de 3,700 kilogrammes. (Ingénieurs : MM. Bouscaren et Shaler Smith.)

Pont sur le Niagara (1883)[1]. — Ce pont, construit pour deux voies, près du pont suspendu sur le Niagara, comprend une travée centrale de 141 mètres, et deux travées de rive de 57 mètres environ ; le tout à près de 72 mètres au-dessus du niveau des eaux.

La poutre principale est disposée en double potence ou en console (cantilever), de telle façon que les deux parties de poutres situées à droite et à gauche de chaque pile métallique se fassent à peu près équilibre (fig. 134).

Les poutres principales, espacées de $6^{m},40$, sont composées de panneaux avec montants verticaux et diagonales travaillant

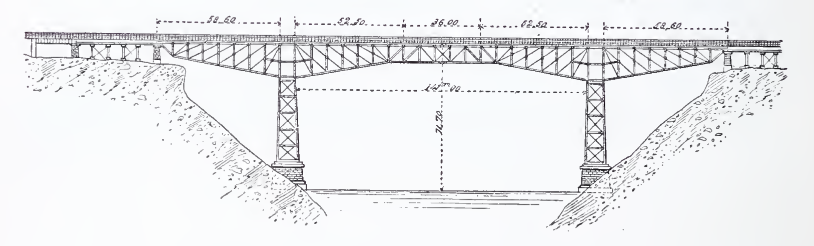


Fig. 134. — Pont sur le Niagara. (Élévation.)

toutes à l'extension ; toutefois, la partie médiane est traitée comme une véritable petite travée indépendante de 36 mètres de longueur, posée aux extrémités des deux potences, avec supports à dilatation. Lorsque la charge mobile passe sur cette travée, il se produit un effort qui tend à faire basculer le système des potences autour du sommet des piles ; aussi les extrémités du côté de la rive sont-elles fortement amarrées aux culées en maçonnerie. La hauteur de la poutre principale de la travée médiane et des extrémités voisines est de $7^{m},90$; la hauteur de la poutre au droit des piles est de 17 mètres, et se réduit à $6^{m},38$ près de la culée. Toutes les pièces travaillant à la compression sont en acier.

1. Traité de Morandière.

Chaque pile est formée de quatre arbalétriers en tôle et cornières d'acier (fig. 135).

Le poids total du métal, fer et acier, pour les piles et les travées s'élève à près de 3,000 tonnes. (Ingénieur en chef : M. C. Schneider.)

Un viaduc du même genre a été construit au Canada sur la rivière Fraser.

Viaduc de Blaauw-Krautz (1884). — C'est un singulier ouvrage construit sur le ravin de Blaauw-Krautz (colonie du Cap), à

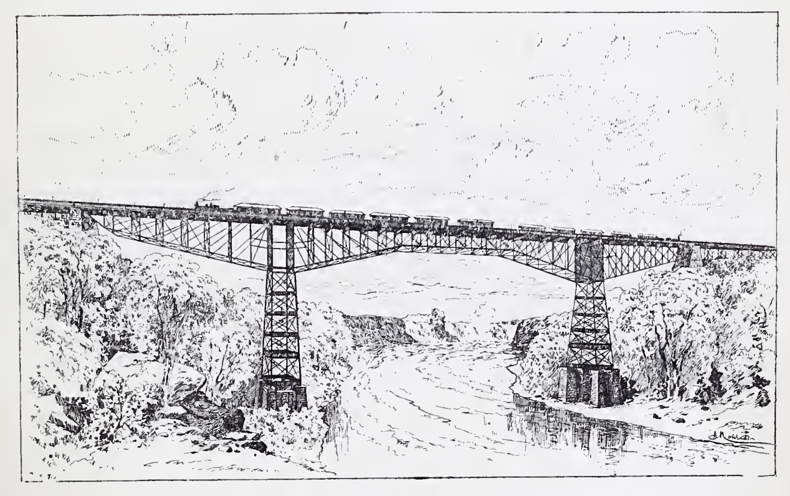


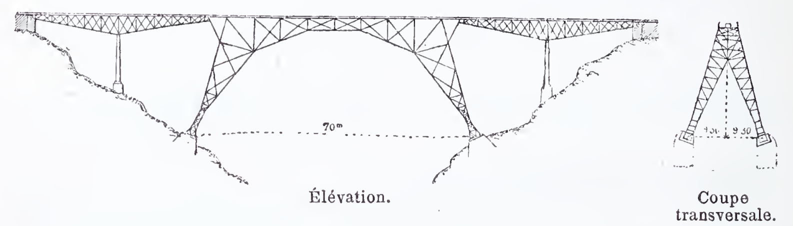
Fig. 135. — Pont sur le Niagara.

60 mètres environ de hauteur au-dessus du fond de la vallée. Il comprend une sorte d'arche centrale, formée de contours polygonaux de 70 mètres de largeur, et deux travées de rive posées en encorbellement ayant ensemble une longueur d'environ 76 mètres (fig. 136).

Les retombées de la travée centrale sont espacées de $18^m,60$ aux naissances, alors que la largeur au sommet est de $5^m,54$, afin de combattre tout effort de renversement.

Le pont est construit pour une voie de $1^m,06$; son poids s'élève à 2,000 kilogrammes par mètre linéaire.

Pont de Saint-John (1885). — Ce pont, construit sur la rivière Saint-John, dans le New-Brunswick, comprend, outre un viaduc d'accès de $121^m,60$ de longueur, trois travées de $58^m,28$, $145^m,20$ et $43^m,75$ de longueur. La grande travée de $145^m,20$ est formée de trois parties inégales, savoir : un bras de $57^m,90$, une travée centrale de $43^m,80$, et un bras de $43^m,50$. Pour laisser une hauteur libre de $22^m,25$ à la navigation, la voie est à la partie inférieure des poutres et la membrure polygonale est à la partie supérieure ;



Élévation. Coupe transversale.

Fig. 136. — Viaduc de Blaauw-Krautz.

c'est la disposition inverse de celle adoptée au pont du Niagara. L'ouvrage aurait coûté 1,750,000 francs. (Ingénieurs : MM. Abbot et S. Thompson.)

Pont du Forth. — Ce pont, construit sur le golfe du Forth (Écosse), présente des travées qui dépassent les plus grandes portées connues.

C'est un ouvrage qui fait époque dans l'art des constructions métalliques. C'est, avec la tour de 300 mètres, le plus grand travail des temps modernes. Il fait le plus grand honneur à ses auteurs, MM. Fowler et Baker.

Les ponts à poutres droites construits jusqu'alors n'avaient pas d'ouverture dépassant 160 mètres ; pont de Kuilenburg, $154^m,50$; pont de l'Hudson River, 160 mètres : et les ponts en arc les plus grands avaient tout au plus 165 mètres d'ouverture : pont de Garabit, 165 mètres, et pont de Saint-Louis sur le Mississipi,

158^{m},50. Le pont du Forth comporte deux travées de plus de 520 mètres d'ouverture.

On a employé, pour la construction de ce pont, de l'acier Siemens, provenant des usines des Galles du Sud et de Glasgow.

De nombreux documents ont été publiés sur le pont du Forth. Nous extrayons les renseignements suivants des *Annales des travaux publics,* et de l'étude de M. l'Ingénieur Gaertner :

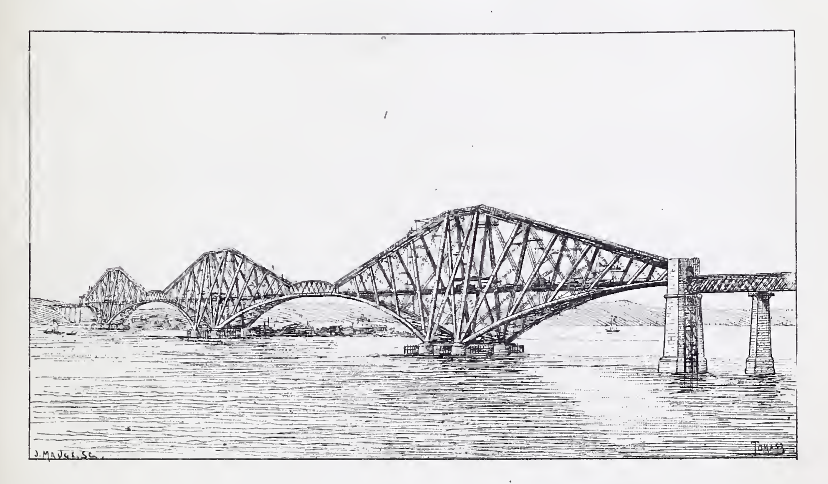


Fig. 137. — Pont du Forth. (Vue générale.)

L'ensemble de la partie principale de cet ouvrage est représenté par la figure 137 ; la longueur totale du pont est d'environ 2,250 mètres. Il se compose de deux grandes travées centrales de 521^{m},55 chacune, suivies de part et d'autre d'une travée de 210^{m},37. Sur les deux rives, les accès sont constitués par quinze travées de 51^{m},34 à 54^{m},60 d'ouverture, et par des viaducs d'accès en maçonnerie de 112^{m},37 de longueur (fig. 138).

Les parties du tablier situées de part et d'autre de chacune des trois piles centrales forment potence et se font équilibre.

C'est une disposition analogue à celle des grues à double volée.

M. Baker a imaginé le dessin représenté par la figure 139,

pour faire comprendre comment travaillent les travées du pont : la charge fixe et la surcharge mobile agissant par traction et compression sur les extrémités supposées libres des poutres-consoles, sont représentées par l'homme du milieu et la sellette sur laquelle il est assis. Les forces appliquées ainsi se transmettent par l'intermédiaire des piles qui sont représentées par les deux personnes

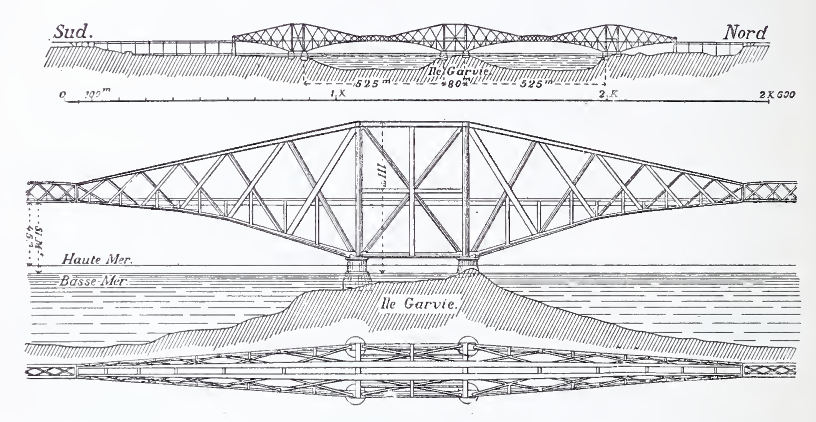


Fig. 138. — Pont du Forth.
(Élévation d'ensemble. — Élévation et plan d'une pile-console.)

assises de chaque côté, aux culées en maçonnerie, lesquelles doivent effectuer les réactions nécessaires.

Sur les deux extrémités des potences en regard reposent les travées centrales de 152 mètres de longueur, dont la semelle inférieure se trouve à $47^{m},50$ au-dessus du niveau des hautes mers. Les parties les plus élevées du pont au-dessus des piles sont à 115 mètres de hauteur de ce même niveau.

Le tablier va en s'élargissant vers les piles; cette disposition a été adoptée en vue d'assurer la stabilité latérale.

L'ossature de la pile se compose de quatre montants inclinés l'un vers l'autre dans le sens longitudinal et le sens transversal. Leur écartement à la base est de $36^{m},57$, et au sommet de $10^{m},06$. Les montants sont réunis par des pièces d'entretoisement.

Les poutres-consoles inférieures composant l'arc intérieur, de forme parabolique, ont une section circulaire, laquelle se prête mieux que toute autre aux efforts de compression. Le diamètre de la section varie d'une manière continue depuis $1^m,52$ vers les sommets, jusqu'à $3^m,66$ aux retombées. L'épaisseur des tôles est de 31,7 millimètres. Les tôles sont consolidées intérieurement à l'aide de poutres. Les tôles ont $4^m,88$ de longueur et sont fixées les unes

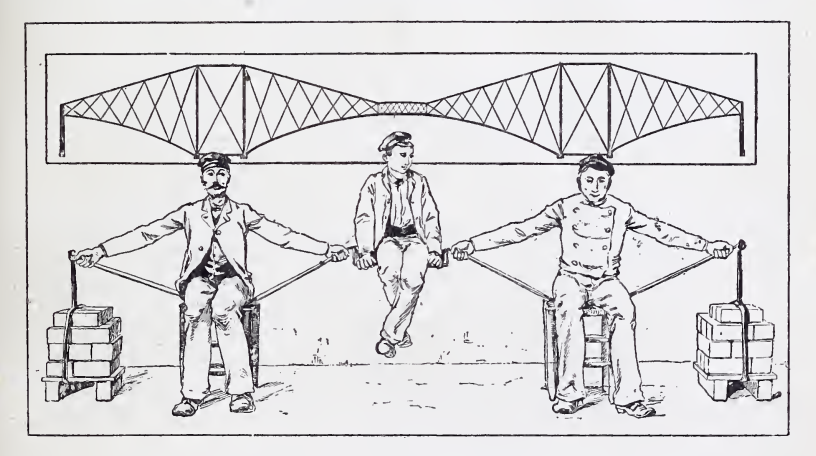


Fig. 139. — Croquis figuratif de l'équilibre du pont du Forth.

aux autres avec joints superposés; aux extrémités de deux tubes consécutifs, elles sont posées bout à bout sans recouvrement.

Les poutres principales qui constituent la membrure des piles ainsi que les tirants horizontaux qui les réunissent, sont également faits en forme de tubes de $3^m,66$ de diamètre.

Pour les parties de l'ouvrage qui travaillent à la traction, on a adopté une section rectangulaire.

Le poids mort des poutres-consoles par mètre courant varie naturellement d'une manière continue depuis 7 tonnes 6 jusqu'à 45 tonnes.

Pour la dépense, on peut admettre le chiffre de 34,000 francs par mètre linéaire.

Les travaux de fondation des trois piles principales présentent un grand intérêt. Chacun des quatre montants qui forment ces piles repose sur un massif cylindrique dont l'ensemble constitue la fondation de la pile. L'écartement de ces massifs est, d'axe en axe, de 36 mètres dans le sens transversal et de $47^{m},24$ dans le sens longitudinal du pont pour les piles extrêmes, et de $82^{m},29$ pour la pile médiane. Les fondations des piles ont été exécutées, soit à l'aide de bâtardeaux, soit au moyen de l'air comprimé. Nous n'entrerons pas dans le détail de ces travaux.

On a commencé par monter les piles; on a ensuite procédé au montage des bras de balanciers qui, avec les piles, forment les piles-consoles (fig. 141); enfin, on a mis en place les travées centrales.

Voici comment s'effectuait le montage des piles (fig. 140) :

On commençait par établir des plaques de fondations au-dessus du massif de maçonnerie formant la base des piles métalliques. Les plaques inférieures étaient constituées par plusieurs feuilles de tôle rivées et boulonnées aux ancrages. Elles étaient réunies à la plaque supérieure, constituée comme elles, par une énorme clavette qui permettait aux plaques de glisser l'une sur l'autre dans certaines limites, en empêchant tout soulèvement.

La superstructure n'était fixée d'une manière invariable qu'à l'un des quatre piliers de chaque pile, ce qui permettait aux trois autres points d'appui d'exécuter les mouvements dus aux variations de température et à l'élasticité des balanciers.

A la plaque supérieure étaient fixées les boîtes dans chacune desquelles se réunissent cinq membrures tubulaires et autant de poutres en treillis de contreventement.

Les membrures tubulaires et les poutres en treillis qui relient les quatre piliers de chaque pile ont été construites sur échafaudages, puis rivées aux boîtes de jonction; on éleva ensuite aussi haut que le permettaient les grues à vapeur, soit $4^{m},90$, les colonnes ou montants tubulaires de $3^{m},60$ de diamètre qui constituent l'ossature principale des charpentes des piles, puis on éta-

blit une plate-forme de chaque côté de la pile au niveau où l'on était arrivé.

Ces plates-formes, représentées sur la figure 140, pouvaient s'élever progressivement le long des colonnes, au fur et à mesure de la construction de celles-ci, par une disposition très ingénieuse que nous croyons intéressant de décrire :

Deux charpentes superposées étaient boulonnées aux nervures longitudinales à l'intérieur de chacune des quatre colonnes tubulaires. La charpente inférieure portait un cylindre hydraulique au piston duquel était fixée la charpente supérieure ; à ce même piston et à cette charpente supérieure était reliée une poutre transversale passant à travers les deux colonnes qui sont dans le même plan vertical. A cet effet, on ménageait dans la paroi de chaque colonne un espace vide correspondant à une tôle qu'on ne mettait en place que lorsque la poutre transversale avait été élevée à un niveau supérieur. Les poutres transversales supportaient des poutres en treillis s'étendant un peu au delà des côtés longitudinaux du rectangle formé par la pile et embrassant deux à deux les colonnes. Sur ces poutres était fixée la plate-forme qui supportait les grues et tout ce qui était nécessaire à l'érection de la charpente. Au niveau inférieur des poutres en treillis se trouvait une deuxième plate-forme, aux deux extrémités de laquelle étaient construites des cahutes

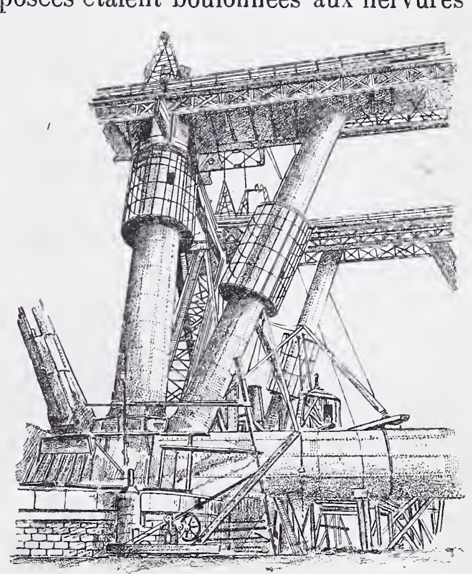


Fig. 140. — Pont du Forth.
Vue du montage d'une pile.

servant d'abri temporaire aux ouvriers. Chacune de ces plates-formes correspondait à deux colonnes présentant la même obliquité.

Les deux autres colonnes étaient munies de plates-formes semblables maintenues au même niveau que les premières par les poutres transversales. Des cages munies de parachutes élevaient les matériaux du niveau de la jetée à celui des plates-formes. Ces dernières étaient élevées simultanément avec tout ce qu'elles supportaient, en admettant l'eau dans les cylindres hydrauliques des quatre colonnes à la fois.

Avant d'admettre l'eau sous les pistons, on déboulonnait les charpentes supérieures qui s'élevaient avec les plates-formes. Lorsque les pistons avaient soulevé tout cet ensemble de $0^{m},30$, on fixait les charpentes supérieures et l'on déboulonnait les charpentes inférieures. En admettant l'eau sur l'autre face des pistons, le cylindre était soulevé et entraînait à son tour les charpentes inférieures. Ces charpentes étant reboulonnées et les charpentes supérieures déboulonnées, les pistons étaient prêts pour une nouvelle course de $0^{m},30$. Lorsque les plates-formes avaient ainsi été élevées de $4^{m},90$ par courses successives, on terminait le rivetage sur cette hauteur. Pendant la construction, les pièces étaient en effet assemblées par des boulons provisoires.

Sous les plates-formes étaient suspendues des cages tubulaires à deux étages embrassant les montants et servant à faire le rivetage définitif et à poser les tôles destinées à recouvrir les vides ménagés pour le passage des poutres transversales.

On faisait en même temps la construction des croix de Saint-André tubulaires et des poutres de contreventement, pendant les ascensions des plates-formes.

Le rivetage s'est effectué soit à la main, soit à l'aide d'appareils portatifs où s'exerçait la pression hydraulique. Les cages tubulaires servant à faire la rivure avaient une hauteur de $4^{m},90$; elles portaient une petite grue hydraulique et étaient munies d'un treillis en fil de fer qui empêchait les ouvriers de tomber au dehors.



Fig. 141. — Pont du Forth. — Vue pendant le montage.

Les rivets étaient chauffés dans un fourneau spécial à l'huile minérale, disposé dans la colonne.

Le montage des bras de balanciers s'est effectué d'une manière analogue. On se servait pour appuis des parties déjà construites. On établissait d'abord la membrure tubulaire inférieure à l'aide d'une sorte de cage métallique enveloppant les parties achevées des tubes et s'appuyant sur elles. La charpente portait une grue hydraulique servant à la pose des tôles qui étaient amenées à la cage au moyen d'un chariot suspendu à un rail placé le long de la partie achevée du tube.

Les travaux ont été commencés en 1883 et l'inauguration du gigantesque ouvrage a eu lieu le 4 mars 1890.

Pont de Poughkeepsie (1889) [1]. — Cet ouvrage (fig. 142), sur l'Hudson River, aux États-Unis, est à deux voies et présente une longueur totale de 2,030 mètres, y compris les viaducs d'approche qui ont ensemble 1,098 mètres. Le pont, proprement dit, se compose de sept travées, savoir : deux travées de rive de 60 mètres chacune, et cinq travées fluviales dont trois sont en encorbellement. Deux de ces dernières ont 166^{m},60 et la troisième 159^{m},60 de longueur ; ces trois travées sont réunies par deux travées intermédiaires droites de 159^{m},60, destinées à remplacer l'ancrage qui n'existe pas pour les poutres en encorbellement.

Les travées de rive sont elles-mêmes en encorbellement du côté des approches. L'élévation des rails au-dessus du niveau des hautes eaux est de 63^{m},60, et la hauteur libre, au-dessous du pont, est de 39 mètres à 48^{m},90.

Les quatre piles en maçonnerie fondées en rivière sur des caissons se continuent par des piles métalliques à huit arbalétriers en acier, sur une hauteur de 30 mètres, jusqu'à la base des poutres en encorbellement. Les arbalétriers sont solidement entretoisés dans tous les sens.

Voici comment s'est opérée la construction : aussitôt après

1. *Génie civil* et *Railroad Gazette.*

l'achèvement des piles et des arbalétriers, on commença par monter, au moyen d'un pont de service, les deux poutres droites qui ont 22m,50 de hauteur. Elles sont du système à losanges avec demi-montants au-dessus et au-dessous des points de croisement des diagonales. Les pièces métalliques étaient apportées sur chalands et levées par des grues ordinaires.

Quand la travée droite fut achevée, on enleva le pont de ser-



Fig. 142. — Pont de Poughkeepsie. — Vue d'ensemble.

vice, puis on procéda au montage des poutres en encorbellement. Ce montage se fit en porte-à-faux en partant à la fois de la rive et de la poutre déjà construite. La portée des parties en encorbellement proprement dit est de 50 mètres. Les 60 mètres restants sont formés d'une poutre droite qui se monta en porte-à-faux comme le reste. Deux installations roulantes portant les appareils de levage circulaient sur des rails à la partie supérieure des poutres et avançaient successivement d'une longueur correspondant à l'établissement des panneaux des poutres (fig. 143).

Les fers étaient amenés par des chalands au droit des panneaux en construction, ou apportés sur le rivage.

Pendant le montage en porte-à-faux, les efforts se résumaient en une traction exercée sur les membrures supérieures des poutres en encorbellement et de la poutre de jonction, et par une com-

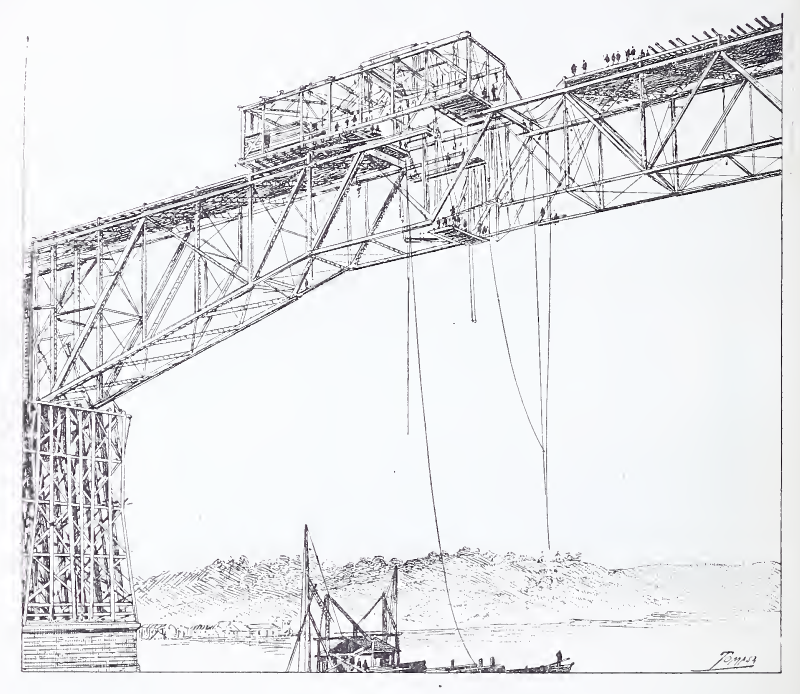


Fig. 143. — Pont de Poughkeepsie. — Montage des poutres en encorbellement.

pression sur leurs membrures inférieures. On y a obvié en composant ces dernières d'un treillis raidissant deux tôles très fortes, de manière à leur permettre de résister à l'effort de compression, jusqu'à ce que les panneaux de la poutre de jonction fussent achevés. La membrure inférieure de ces panneaux n'est, au contraire, constituée que par des barres à œil.

Le pont et les piles métalliques ont été construits entièrement

en acier; les rivets sont également en acier. (Ingénieur : M. Dickinson. — Constructeur : M. Cooledge.)

Pont du Jubilee sur l'Hooghly (1887). — Le chemin de fer de l'Est indien franchit la rivière de l'Hooghly au moyen d'un pont à deux voies de $1^m,65$ de largeur.

La superstructure du pont est divisée en trois parties (fig. 144). Les poutres maîtresses sont du type triangulaire, courbes à la partie supérieure et droites à la partie inférieure.

Elles sont contreventées à leur partie supérieure.

Le double cantilever de la travée médiane a 108 mètres de longueur et chacune des deux travées latérales mesure 126 mètres.

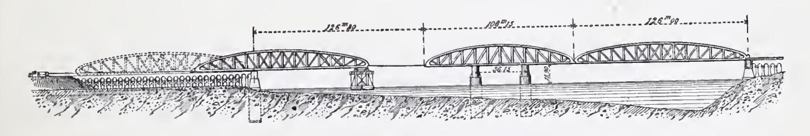


Fig. 144. — Pont sur l'Hooghly. (Élévation pendant le lançage.)

La hauteur au-dessus du niveau moyen des eaux est de $15^m,90$. Le cantilever repose sur deux piles écartées de $36^m,15$ d'axe en axe.

La poutre du milieu du cantilever a été construite au moyen d'un échafaudage temporaire porté par les piles et les autres poutres, à chaque extrémité du cantilever, ont été mises en place sans échafaudage, à l'aide de grues. Les poutres des travées de rive ont été montées sur les viaducs d'accès et mises ensuite en place par lançage; on s'est servi de pontons pour soutenir les poutres.

Pont du Red-Rock sur le Colorado (1890) [1]. — Ce pont, construit sur le Colorado, aux États-Unis, est à une voie. Il est prolongé par un viaduc d'accès. Les travées principales se composent de deux poutres en encorbellement; les deux travées de rive ont chacune une ouverture de $50^m,325$; la travée du milieu a une ouverture de $201^m,30$ (fig. 145).

1. *Génie civil.*

Les poutres sont articulées à une distance de 50m,325 de chaque pile, de sorte que la poutre comprise entre articulations a exactement la longueur double de cette distance. La largeur entre les axes des poutres est de 7m,625.

La hauteur de la poutre au-dessus des piles est de 30m,80 entre axes des articulations ; cette hauteur se réduit à 16m,77 pour la poutre suspendue.

Le métal dont on a fait usage dans la construction du pont est du fer soudé (puddlé), à l'exception du métal de la membrure tra-

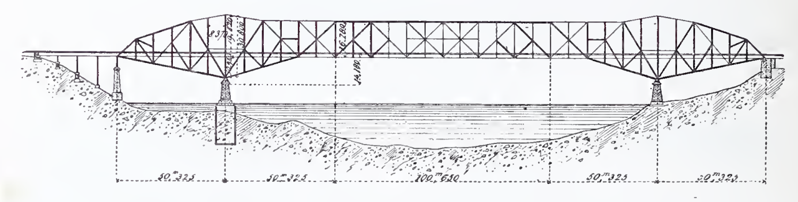


Fig. 145. — Pont du Red-Rock sur le Colorado. (Élévation.)

vaillant à la compression des poutres principales qui est de l'acier Martin.

Pont de Memphis, États-Unis (1892). — Les Américains viennent de construire sur le Mississipi, à Memphis (Tennessee), un pont monumental avec cantilevers. La longueur totale de l'ouvrage est de près de 1,500 mètres ; elle se compose (fig. 146) de deux travées en encorbellement : l'une de 240 mètres et l'autre de 188 mètres d'ouverture ; d'une travée droite de 188 mètres qui sépare les deux travées en encorbellement et remplace l'ancrage d'un côté de ces dernières ; d'une travée d'approche de 68m,40 servant d'ancrage ; d'une travée de 102 mètres ; enfin, à la suite de cette dernière, d'un viaduc d'accès de près de 700 mètres de longueur composé de vingt-six travées. La longueur des consoles est de 51m,50 et celle des poutres qu'elles supportent de 137 mètres.

Dans les travées du pont en encorbellement, les rails sont à la partie inférieure des poutres et la membrure polygonale de ces poutres est à la partie supérieure.

La largeur d'axe en axe des poutres est de $9^m,15$.

Comme dans la plupart des ponts américains, les poutres sont formées de systèmes articulés. Leur hauteur, dans la travée droite, est de $23^m,40$ et, dans les parties supportées par les cantilevers, de $17^m,80$.

La superstructure entière du pont est en acier. Le poids du métal pour la partie principale de l'ouvrage représentée par la figure 146 est de 7,400 tonnes. (M. Geo. S. Morison, ingénieur en chef.)

Pont sur la Manche. — Nous allons donner un aperçu sommaire du gigantesque projet de pont sur la Manche, présenté par la Société d'études et de construction de ce pont (fig. 147).



Fig. 146. — Pont de Memphis, États Unis. (Élévation partielle.)

La largeur totale du détroit, sur le dernier tracé adopté, est de 33,450 mètres. Le projet comporte des travées de 400 et 500 mètres, uniformément alternées ; le nombre total des travées serait de 73, et le nombre des piles en mer de 72.

Les piles en maçonnerie seraient élevées jusqu'à 14 mètres au-dessus des plus hautes mers, et surmontées de colonnes métalliques destinées à supporter les poutres du pont, qui auraient leur face intérieure à 54 mètres au moins au-dessus des hautes mers.

La superstructure est composée de deux poutres principales en acier se rejoignant par leurs nervures supérieures, de manière que l'ossature principale du pont présente, en coupe transversale (fig. 148), une figure triangulaire, reposant par sa base sur les colonnes métalliques qui surmontent les piles. Ces poutres sont elles-mêmes constituées de deux nervures reliées par un treillis triangulaire à larges mailles. La nervure inférieure est sensiblement horizontale, bien que légèrement surélevée au centre des travées ; la nervure supérieure a un profil polygonal.

Les poutres principales règnent sur toute l'étendue de la travée de 400 mètres, et se prolongent en porte-à-faux de chaque côté de cette dernière, de manière à couvrir, sur chacune des travées de 500 mètres entre lesquelles elle est comprise, une longueur de $187^{m},50$. Il reste donc au centre des travées de 500 mètres un vide de 125 mètres de longueur qui est occupé par une travée indépendante reposant sur les deux extrémités en porte-à-faux des deux poutres principales.

La hauteur de la poutre principale, au-dessus des piles, est de 60 mètres : cette hauteur se réduit à 40 mètres environ au



Fig. 147. — Pont projeté sur la Manche. (Vue générale.)

centre de la travée de 400 mètres. Dans toute l'étendue de cette dernière, la largeur du pont à sa base, c'est-à-dire l'écartement des deux poutres qui le composent, sera uniformément de 25 mètres. Cette largeur diminue progressivement dans les parties en porte-à-faux, de façon à être réduite à 10 mètres à l'origine de la travée indépendante. En même temps, la hauteur de la poutre s'abaisse progressivement depuis la pile jusqu'à la poutre indépendante à l'origine de laquelle elle n'est plus que de 11 mètres.

La travée indépendante est constituée par deux poutres principales, verticales, espacées de 10 mètres, et présentant une nervure supérieure parabolique qui donne à ces poutres une hauteur de 20 mètres au milieu.

Le pont porte deux voies, et chacune des lignes de rails

repose sur une poutre longitudinale à treillis, supportée de distance en distance par une forte poutrelle transversale.

La superstructure du pont sera entièrement en acier. Le poids total sera d'environ 755,000 tonnes.

L'exécution des massifs inférieurs servant de base aux piles et s'étendant du niveau des plus basses mers jusqu'au fond, constituera la principale difficulté de l'ouvrage projeté en raison des sujétions résultant de la profondeur et de l'agitation des eaux. Elle doit être réalisée par les trois méthodes suivantes :

Caissons métalliques flottants; fondations à grandes profondeurs au moyen de béton immergé; enfin, pour les piles de profondeur exceptionnelle, fondations par immersion de blocs artificiels à l'aide de *selles métalliques amovibles.*

Les selles métalliques apporteront aussi un précieux concours à l'importante opération de la mise en place des travées.

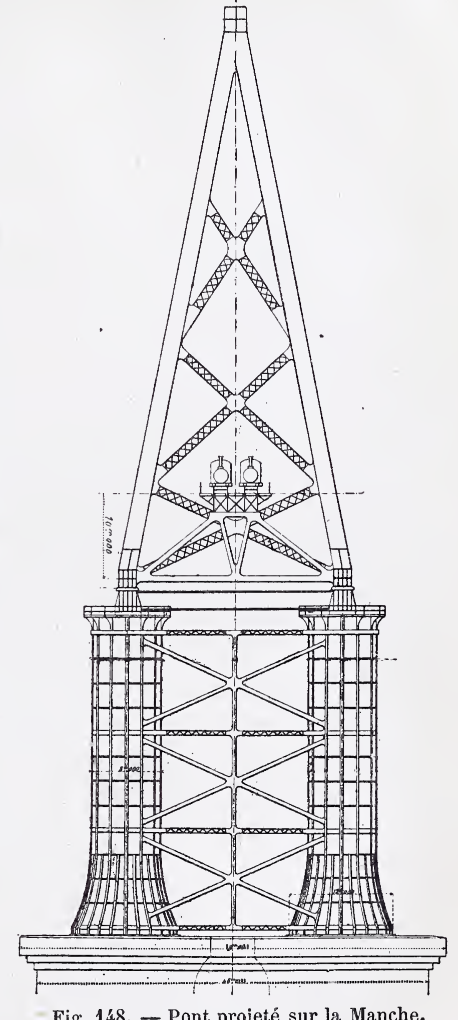


Fig. 148. — Pont projeté sur la Manche. (Coupe transversale.)

La dépense totale de construction de l'ouvrage, y compris les

intérêts pour sept années de construction, est évaluée à 815 millions. (Le projet est dû à la collaboration de MM. Schneider et Hersent, Fowler et Baker.)

II. — CONSTRUCTIONS DÉPENDANTES EN TÔLE

Nous avons indiqué sommairement quelles sont les différentes parties qui constituent un pont en arc.

Au point de vue de la façon dont les arcs reposent sur les culées, nous devons distinguer :

1° Les arcs sans charnières : ils reposent sur les culées par l'intermédiaire de sabots, munis généralement de cales de réglage ;

2° Les arcs avec deux charnières aux naissances : ils portent à chaque extrémité sur un axe de rotation. Cette disposition favorise la bonne répartition des efforts ;

3° Les arcs avec charnières et cales : dans ce système *mixte,* chaque extrémité de l'arc repose sur un axe de rotation, et de plus, des cales sont interposées entre la plaque de retombée, reliée aux sommiers de la culée, et les flasques de l'arc ; nous citons un exemple de pont dans lequel c'est par l'intermédiaire de trois rotules, placées au milieu et aux extrémités de la hauteur de l'arc, que ce dernier porte sur les culées. Les cales ne sont mises qu'au moment où le pont supporte en totalité sa charge permanente ; elles ne travaillent donc qu'accidentellement sous l'action des surcharges ou des variations de température ;

4° Enfin, dans quelques arches, les arcs ont trois charnières, deux aux naissances et une à la clef. Nous avons dit à propos des ponts en fonte dans quel but cette disposition était adoptée.

En ce qui concerne les tympans, ils peuvent être *rigides*, c'est-à-dire formés d'éléments assemblés invariablement avec l'arc et le longeron du tablier, ou bien *articulés*, c'est-à-dire indépen-

dants soit de l'arc, soit du longeron, soit des deux : ils sont alors réunis à ces derniers par l'intermédiaire de charnières.

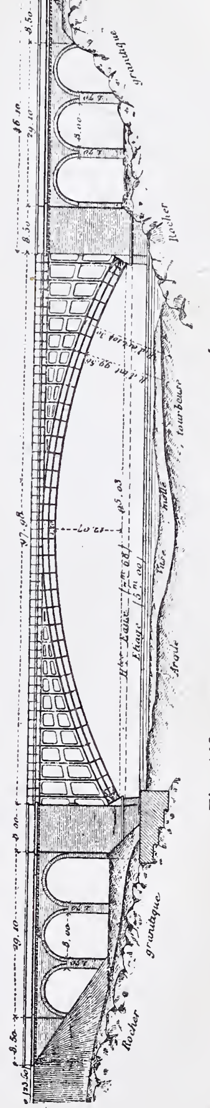


Fig. 149. — Pont sur l'Erdre, près de Nantes. (Élévation.)

A. — *Ponts pour chemins de fer.*

1° EN FRANCE

Pont de Maubeuge (1849). — L'un des premiers ponts en arc construits en France pour voie de fer est le pont sur la Sambre, près de Maubeuge. Il ne comprend qu'une seule arche de 32^{m},50 d'ouverture.

Pont sur le canal Saint-Denis (1858). — On a construit sur le canal Saint-Denis, pour la ligne de Paris à Creil, un pont de 45 mètres d'ouverture avec une flèche de 4^{m},70. Ce pont, dû à M. Mantion, présentait cette particularité que les pièces de pont étaient formées de madriers de bois, et que son support était une charnière. Le plancher était recouvert d'une légère couche de ballast. Ce pont, établi pour deux voies, pesait environ 2,800 kilogrammes par mètre courant.

Pont de l'Erdre (1877). — La ligne à double voie de Châteaubriant à Nantes franchit la rivière l'Erdre au moyen d'une arche de 95 mètres d'ouverture avec une flèche, à l'intrados, de 12^{m},07 (fig. 149). Elle est composée de quatre fermes également espacées. La hauteur des arcs, de 2^{m},50 aux naissances, est de 2^{m},20 à la clef; leur âme est pleine avec des nervures normales à la courbure de l'arc.

Une nervure parallèle aux tables d'in-

trados et d'extrados, et à égale distance des deux, règne aussi sur toute l'étendue de l'arc.

Des panneaux évidés et divisés par un arc intermédiaire forment les tympans. Ces derniers et les arcs sont fortement entretoisés (fig. 150).

Une couche de ballast, maintenue par les longerons des fermes de rive et reposant sur un plancher formé de tôles embouties, sert à recevoir les rails comme en pleine voie. Par suite de cette disposition, la charge sur le pont est augmentée; ce qui conduit à une augmentation du poids du métal et de la dépense. Le poids du métal par mètre courant s'est élevé à 10,420 kilogrammes, chiffre notablement supérieur à celui indiqué pour d'autres ponts de dimensions semblables.

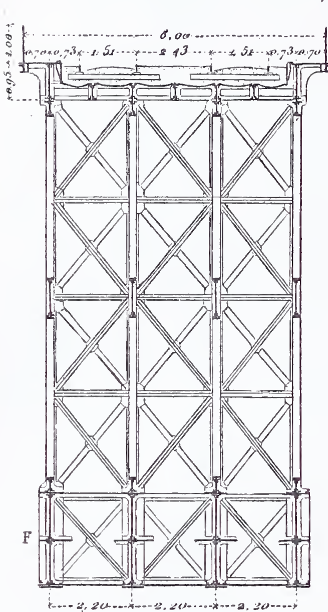


Fig. 150. — Pont sur l'Erdre, près de Nantes. (Coupe transversale.)

Le support de l'arc, aux naissances, est du système mixte avec charnière médiane et cales aux extrémités. Nous donnons le dessin d'une disposition semblable page 208. (Compagnie d'Orléans : MM. Didion, Sévène, Dupuy et Geoffroy, ingénieurs. — Constructeur : Compagnie de Fives-Lille.)

Pont de Nantes sur la Loire (1884). — Cet ouvrage est intéressant par la disposition particulière des tympans qui consistent en montants verticaux *articulés* à leur base.

Le pont est à deux voies et se compose de cinq arches en fer en arc de cercle, de 60 mètres d'ouverture et de 6 mètres de flèche. La largeur du tablier est de 8^m,160. Chaque arche métallique se compose de quatre fermes placées sous chaque file de rails

et de deux fermes de rive supportant les trottoirs. Les tympans sont complètement indépendants de l'arc et consistent en montants reposant sur l'arc par l'intermédiaire de charnières (fig. 151).

M. Jean Resal, ingénieur des Ponts et Chaussées, a été amené dans une étude qu'il a faite sur la déformation des arcs, à conclure que de 40 à 80 mètres on devrait former les tympans de pièces verticales articulées avec les longerons du tablier et avec les arcs, ou tout au moins avec ces derniers. C'est ce qui a été fait pour le pont de Nantes.

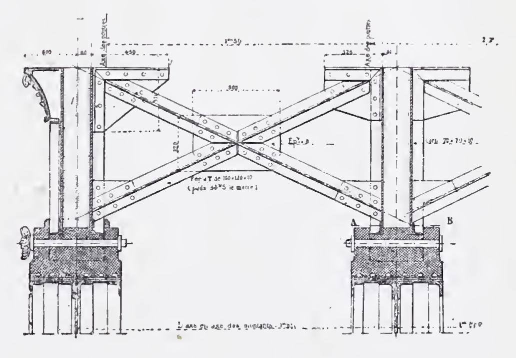


Fig. 151. — Pont de Nantes, sur la Loire. (Coupe transversale des montants.)

L'arc affecte en section la forme d'un double T. L'âme, composée d'une seule feuille de tôle, est raidie : 1° par une lame de tôle pincée entre deux cornières et épousant le rayon moyen de l'arc ; 2° par des nervures normales à la courbure et situées au droit de chaque montant vertical. C'est à ces nervures que sont attachées les croix de Saint-André du contreventement transversal.

Le plancher est en tôle striée.

Le support de l'arc placé aux naissances est à charnière et cales. Le poids de fer et tôle s'élève à 6,050 kilogrammes par mètre courant de débouché. (Usine Cail.)

Viaduc de Garabit (1884). — C'est au moyen de ce très remarquable ouvrage que la ligne à voie unique de Marvejols à Neussargues franchit la gorge profonde dans laquelle coule la Truyère. La disposition adoptée est celle du viaduc Maria Pia, sur le Douro (fig. 154) : une grande arche unique de 165 mètres d'ouverture franchissant la vallée et supportant un tablier métallique à une hauteur de 118 mètres au-dessus du niveau des eaux du ravin.

L'arche se compose de deux fermes principales en treillis, placées symétriquement par rapport au plan médian de l'arche et dans des plans obliques à ce dernier. L'écartement de ces plans, qui est de 20 mètres aux naissances, n'est plus que de $6^{m},28$ à la clef et à l'extrados, d'où résulte un fruit de $0^{m},11088$ par mètre par rapport à la verticale. Par suite de cette inclinaison, l'arche se trouve dotée d'une résistance considérable à l'action du vent et possède une stabilité offrant toute sécurité.

Les fermes, qui affectent la forme d'un croissant, ont à la clef une hauteur de 10 mètres, hauteur qui va en décroissant jusqu'aux naissances où elles se terminent par des rotules qui reposent sur des coussinets et plaques d'appui.

Ces fermes sont composées de membrures d'intrados et d'extrados en forme de caissons dont la face intérieure reste ouverte et est croisillonnée. Les membrures sont réunies par des croix de Saint-André et des montants verticaux, avec panneaux pleins dans le voisinage des rotules. Les montants et les diagonales sont des poutres en treillis.

Les fermes sont reliées entre elles par des entretoises horizontales. En outre, dans le plan de ces entretoises et des montants, se trouve un contreventement vertical.

Des caissons à jour, formés par des cornières aux arètes et des croisillons sur les faces, sont disposés en croix dans les plans d'intrados et d'extrados ; ils assurent la parfaite rigidité de l'arche et la solidarité des divers éléments dont elle se compose.

Le tablier métallique a une longueur de $448^{m},30$. Il est formé de deux poutres droites dont les extrémités portent sur des culées, et dont les autres appuis sont constitués par des piles métalliques élevées sur les versants de la vallée et par des palées ou des entretoises reposant sur l'arche.

Le tablier est discontinu ; il se compose en réalité de trois tabliers consécutifs : un tablier central compris entre les deux palées de l'arc et deux tabliers extrêmes s'étendant de ces palées jusqu'à chacune des culées.

Le tablier central, formé de trois travées égales, est solidaire de l'arc en deux de ses points d'appui et repose librement sur les palées. Les tabliers extrêmes, dont l'un est composé de cinq travées, l'autre de deux travées, sont fixes sur les grandes piles élevées sur les culées de l'arc, et se dilatent librement grâce aux jeux laissés sur les culées et sur les palées de l'arc.

Les poutres, de $5^{m},16$ de hauteur, sont formées d'un treillis à simples mailles avec renforts verticaux; la voie est placée à $1^{m},66$ en contre-bas de la semelle supérieure, de telle sorte que les poutres puissent former garde-corps en cas de déraillement. Le platelage métallique, en fers zorés, est assez résistant pour supporter le poids d'une locomotive déraillée. Les poutres sont fortement entretoisées et un contreventement inférieur complète la rigidité et l'invariabilité de l'ensemble.

Les poutres reposent sur des appuis à charnières, les uns mobiles, les autres fixes. L'emploi des appuis à charnières fait que la réaction verticale de l'appui passe toujours par l'axe du support, condition obligatoire avec des piles métalliques de grande hauteur.

Des moyens d'accès spéciaux ont été prévus pour faciliter la visite et la réparation des pièces de l'ossature : des lisses en fer méplat ont été placées contre les poutres, à hauteur d'appui, pour faciliter la circulation sur les trottoirs en bois latéraux à la voie. Une passerelle a été ménagée à l'intérieur du tablier métallique; elle porte une voie de $0^{m},40$ de largeur, sur laquelle peut circuler un wagonnet. Des cornières, destinées à fonctionner comme rails, sont placées extérieurement sur les tables inférieures des poutres, de manière à permettre l'installation d'un échafaudage roulant transversal pour la visite du tablier.

Les piles métalliques sont à étages et ont des hauteurs de $60^{m},736$, $51^{m},201$, $36^{m},463$ et $24^{m},512$. Elles ont la forme de troncs de pyramide à section rectangulaire; la hauteur des étages est généralement de 10 mètres. Elles sont terminées à leur sommet par un couronnement destiné à recevoir les appuis du tablier.

Les quatre arbalétriers des piles sont constitués par des cais-

sons rectangulaires ouverts sur la face intérieure ; ils ont donc en coupe la forme d'un U, et c'est à l'intérieur de cet U que viennent s'insérer les entretoisements horizontaux et diagonaux dont la forme est celle de caissons à treillis. Les entretoisements en forme de caissons à jour présentent une rigidité qui les rend capables de résister à la compression aussi bien qu'à la traction. Des échelles sont prévues au centre de chaque pile.

L'exécution des travaux, qui présentait de grandes difficultés, s'est faite de la manière suivante (fig. 13) :

On a élevé un pont de service dont le plancher correspondait au niveau de la base du soubassement de la grande pile (côté Marvejols), puis on a éxécuté les maçonneries sur les deux rives, en arrêtant les culées et piles des viaducs en maçonnerie à la hauteur de la plate-forme supérieure des piles métalliques. Cela fait, on a monté les fers de la pile n° 1 puis de la pile n° 2, enfin, des deux grandes piles-culées n^es 4 et 5. Pendant ce temps, on procédait au montage, sur la plate-forme des terrassements, aux deux extrémités de l'ouvrage, des deux tabliers extrêmes. Ces tabliers ont été lancés ensuite.

Cela fait, les préparatifs ont commencé pour le levage de l'arche, et cela sans emploi de cintres. Des échafaudages ont été construits au-devant des soubassements des deux piles-culées jusqu'à la hauteur des rotules ; leur partie supérieure était arasée en pente, de manière à recevoir les membrures d'intrados des deux premiers panneaux. Au-dessus de ces premières pièces, on a dressé les montants, les croisillons, les entretoises, etc. L'arc a été contrebuté au moyen de contre-fiches interposées entre son extrados et la pile contiguë, et on a soutenu l'avant au moyen de câbles en acier s'élevant jusqu'au sommet de la pile.

Les dispositions prises pour le montage des pièces étaient les suivantes :

1° A l'extrémité des membrures d'extrados de la partie des deux fermes déjà posée, se trouvait une bigue qui levait les pièces amenées sur le pont de service en dessous du chantier de pose

aérien. On faisait avancer la bigue au fur et à mesure de l'avancement de l'arc; elle était fixée par sa tête aux tabliers supérieurs. Des filets tendus sur des cadres en charpente au-dessous des points occupés par les ouvriers assuraient leur sécurité ;

2° Au-dessus des deux grandes piles latérales à l'arche centrale ont été élevés deux pylônes en charpente, dont le sommet soutenait un câble porteur en acier supportant deux chariots mobiles qui servaient au montage des pièces de faible poids. Par ces deux moyens combinés, l'arche s'est élevée graduellement.

Des câbles métalliques de retenue maintenaient en porte-à-faux les portions d'arc déjà montées; ils étaient amarrés au tablier dont on avait assuré la fixité par des amarres en retraite.

L'arche, une fois en place, on établit la partie centrale du tablier et les palées des reins.

Les dépenses se sont élevées, pour la partie métallique, à 2,350,000 francs, soit à 5,703 francs par mètre courant de tablier métallique. (Boyer, ingénieur; Eiffel, constructeur.)

2° A L'ÉTRANGER

Pont de Szégedin (1858). — Le premier pont important à arc que l'on ait construit en tôle est le pont de Szégedin, sur la Theiss, en Hongrie; il sort des ateliers de la maison française Gouin. Il est à deux voies et se compose de huit arches de 41 mètres environ d'ouverture, surbaissées à 1/8 (fig. 152), comprenant chacune quatre fermes.

Les arcs de chaque ferme ont une section en forme de double T de $0^m,659$ de hauteur; dans la partie centrale, cette hauteur atteint $0^m,905$ par suite de la réunion de l'arc au longeron. Les longerons sont aussi en forme de double T, et ont $0^m,340$ de hauteur.

Les fermes sont contreventées au niveau des longerons et au niveau de l'axe neutre des arcs; enfin des entretoises formées de croix de Saint-André relient les montants verticaux.

Le poids de la superstructure est de 3,280 kilogrammes par mètre linéaire.

Pont de Coblentz (1864). — Le pont, construit pour deux voies, à Coblentz, sur le Rhin, comprend trois travées de 96 mètres

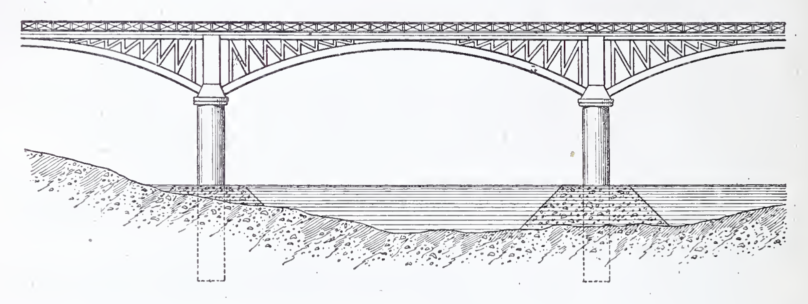


Fig. 152. — Pont de Szégedin. (Élévation partielle.)

d'ouverture, formées chacune de trois fermes surbaissées à 1/10. Les arcs sont à doubles parois, en croix de Saint-André et montants verticaux, réunies à l'intrados et à l'extrados par des membrures en forme de caisson. La poutre intermédiaire a une section plus forte que les deux poutres de rive, parce qu'elle peut avoir à supporter la moitié du poids de chaque travée, si deux trains viennent à se croiser, tandis que les secondes n'ont à supporter que la moitié

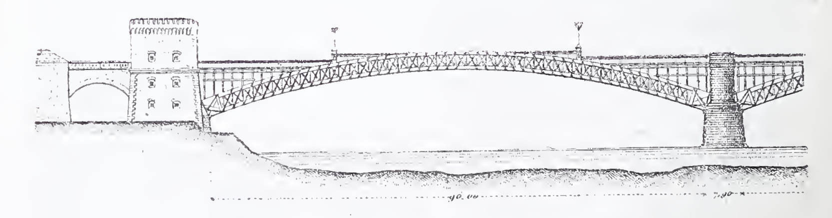


Fig. 153. — Pont sur le Rhin, à Coblentz. (Élévation partielle.)

du poids d'une travée. Les arcs ont une hauteur de $3^{m},23$; signalons que, dans le voisinage de la clef, ils portent les voies à leur partie inférieure. Les tympans sont simplement constitués par des montants verticaux ; mais leurs parties évidées sont très réduites.

Le pont de Coblentz semble avoir été un des premiers ponts dans lesquels on ait adopté la disposition qui consiste à faire reposer les arcs sur les coussinets des naissances, au moyen d'articulations ; toutefois, de part et d'autre du coussinet, on a disposé des appareils de calage avec doubles coins.

Le poids de la superstructure métallique a été de 6,500 kilogrammes par mètre linéaire.

Viaduc de Rohrbach (1882). — Ce viaduc, sur la ligne à voie unique du Saint-Gothard, a 60 mètres de portée et 6 mètres de

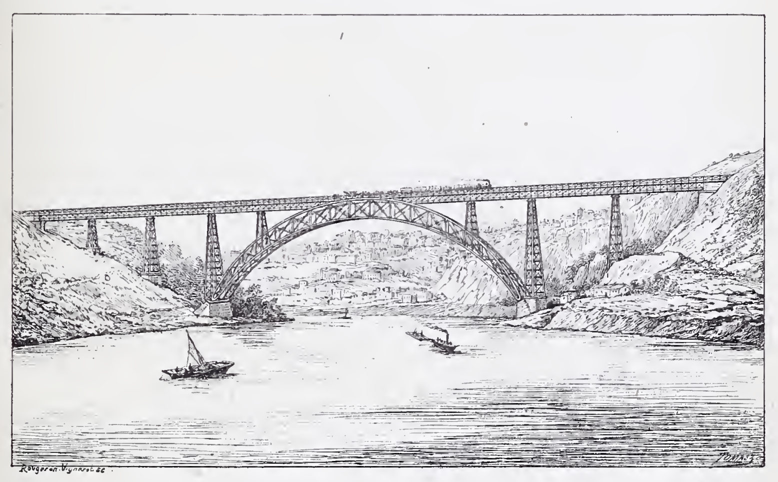


Fig. 154. — Pont Maria Pia, sur le Douro, à Porto.

flèche. Les deux arcs sont espacés de $4^{m},50$. La hauteur de l'arc au sommet est d'environ $1^{m},20$. La voie est en pente de 25 millimètres et est posée en courbe de 350 mètres de rayon sur l'une des extrémités de la travée. Le poids du métal se monte à 3,750 kilogrammes par mètre courant.

Viaduc, dit Pont Maria Pia, sur le Douro, à Porto (1877). — Bien que ce soit le premier ouvrage de ce genre qui ait été construit, nous renverrons, pour les détails de construction, à la description du viaduc du même genre de Garabit, page 193. Nous

nous contenterons de signaler quelques différences qui existent entre ces deux ouvrages, construits tous les deux par M. Eiffel, auquel ils font le plus grand honneur.

L'arche du pont du Douro a 160 mètres d'ouverture (fig. 154). Le tablier n'est pas interrompu sur les palées, comme celui du viaduc de Garabit. Dans la partie qui correspond à la clef de l'arche, il fait corps avec l'arche même et tient ainsi lieu de contreventement pour la partie supérieure des fermes.

Les quatre arbalétriers des piles sont constitués par des caissons rectangulaires entièrement fermés et les entretoisements par des poutres en cornières d'une faible rigidité, capables de résister seulement à des efforts de traction.

Le poids du métal, pour l'ensemble du pont, est de 4,100 kilogrammes par mètre courant du pont ; le prix du viaduc a été de 1,300,000 francs, dont 150,000 francs pour les maçonneries.

B. — *Ponts pour routes.*

1° EN FRANCE

Pont d'Arcole (1855). — Le pont d'Arcole, sur la Seine, à Paris, est le premier pont en arc important construit en France. Il a une seule travée de 80 mètres d'ouverture, surbaissée à 1/13, et est du système Cadiat (fig. 155). Sa largeur est de 20 mètres entre garde-corps, et comprend douze fermes. Les arcs, à âme pleine en tôle, ont $1^m,40$ de hauteur aux naissances et seulement $0^m,395$ à la clef. Ils reposent librement aux naissances sur des coussinets en fonte.

Les longerons sont formés d'un fer à T et supportent les rails Barlow sur lesquels repose la chaussée ; leur extrémité avait été amarrée à un système de tirants engagés dans les maçonneries. Dans l'esprit des auteurs, cet ancrage des tirants et des longerons devait être assez fort pour maintenir la moitié de la travée et pour permettre de couper l'arc en son milieu. Les diagonales entre l'arc

intermédiaire et les longerons sont doublées ; c'est une bonne disposition.

Le poids du métal s'est élevé à 13,700 kilogrammes par mètre linéaire et à 685 kilogrammes par mètre superficiel.

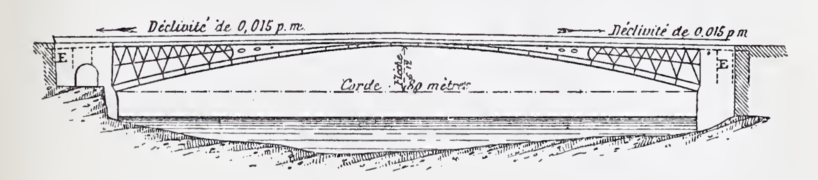


Fig. 155. — Pont d'Arcole, à Paris. (Élévation.)

Un accident est arrivé à ce pont en 1888. Il a subi un mouvement ; la coupe transversale (fig. 156) montre l'importance de la déformation qui s'est produite dans le tablier.

Le principe qui avait présidé à la construction de l'ouvrage était, nous l'avons dit, celui de l'amarrage des longerons sur chaque culée, les extrémités supposées libres des poutres encastrées s'appuyant sur un arc ; on avait compté sur la combinaison de ces deux systèmes pour pouvoir réduire les sections. Ces prévisions ne se sont pas réalisées. Il y a eu rupture des pièces d'assemblage des douze longerons, avec les tirants correspondants. En outre, les tirants avaient une inclinaison de 1/10 environ par rapport à la direction des longerons. Il en est résulté que, lors de la déchirure, l'extrémité du longeron s'est relevée, ce qui a encore contribué à la déformation du tablier ; l'affaissement n'a pas été moindre de $0^{m},12$.

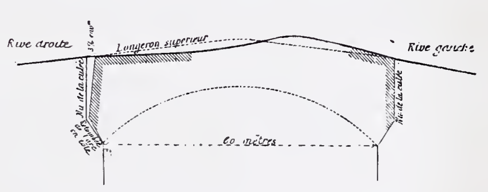


Fig. 156. — Pont d'Arcole, à Paris. (Déformation après l'accident de 1888.)

Dans la réfection qui a été faite du pont, on a supprimé tout encastrement de longerons, et on a renforcé convenablement l'arc de façon à lui permettre de travailler seul.

Pont de Saint-Just (1861). — Ce pont, du système Cadiat, construit sur l'Ardèche pour une route nationale, est composé de six travées de $46^{m},26$ d'ouverture (fig. 157). Chaque travée a 7 mètres de largeur entre garde-corps et comprend 5 fermes surbaissées à 1/10. La hauteur de l'arc, de $0^{m},50$ aux naissances, va en diminuant jusqu'à la réunion de l'arc avec le longeron, et la hauteur de l'ensemble des deux pièces redevient de $0^{m},50$ à la clef. La section des arcs est en forme de T ; les tympans sont formés par des fers en U adossés, et leurs croix de Saint-André sont réunies par un arc intermédiaire.

Le contreventement est constitué dans huit plans verticaux

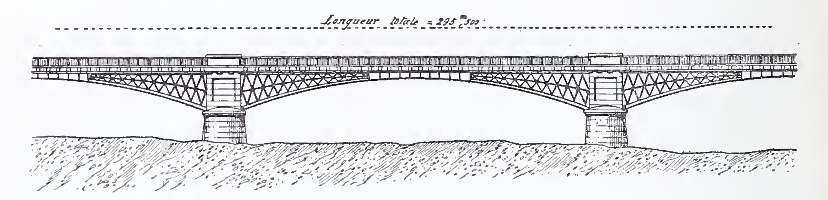


Fig. 157. — Pont de Saint-Just. (Élévation partielle.)

par des croix de Saint-André. Les fermes sont aussi réunies par des entretoises normales et par des entretoises obliques.

Le poids de l'ouvrage est de 2,200 kilogrammes par mètre linéaire.

Le procédé de montage mérite d'être signalé. On s'est servi d'un échafaudage mis en place par lançage. On ne pouvait encombrer le lit de l'Ardèche ; en conséquence, on construisit d'abord les piles et on établit sur la rive un échafaudage formé de deux poutres en treillis, en charpente, placées à $8^{m},50$ de distance et reliées entre elles par des croix de Saint-André. On constitua ainsi une travée en charpente, fortifiée par des traverses fixées au sommet et à la base. C'est sur ces traverses que l'on posa les rails pour la circulation des appareils de levage des matériaux. Chaque poutre en charpente fut roulée sur de forts galets placés par couples sur les culées et sur les piles.

Le pont provisoire recouvrait deux travées. On posait alors l'ouvrage définitif dont les différentes parties étaient suspendues au-dessous du pont de service. (Le Creusot).

Pont de la Chiffa (1869). — Le pont de la Chiffa, en Algérie, est composé de quatre travées de 47^{m},15 d'ouverture surbaissées à environ 1/10. La largeur entre les garde-corps est de 6 mètres et comprend trois fermes. La chaussée de 4^{m},50 et les trottoirs de 0^{m},750 reposent sur des tôles embouties.

Passerelle sur le bassin de la Villette, à Paris (1882). — Cette passerelle en arc (fig. 158), qui réunit les deux quais bordant le bassin de la Villette, est disposée de façon à ne pas gêner le libre

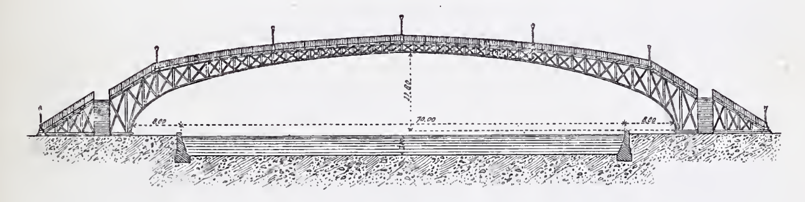


Fig. 158. — Passerelle de la Villette. (Élévation.)

passage des bateaux. Elle a 86 mètres de portée et la largeur entre les garde-corps est de 5 mètres. Dans l'axe, la hauteur est de 11^{m},80 au-dessus du niveau du bassin. La partie métallique se compose de trois poutres en croix de Saint-André. La passerelle est posée sur le sol au moyen d'appuis dont la maçonnerie est très réduite. On accède au palier au moyen d'escaliers transversaux.

Le poids total de la partie métallique est d'environ 150 tonnes.

Le montage a été fait sans échafaudage : les escaliers étant construits, on a mis en place et ancré dans les fondations les retombées des arcs ; puis le reste de la passerelle a été mis en place en porte-à-faux, avec des chèvres installées dans deux bateaux mobiles qui apportaient à leur place les diverses pièces. (MM. Alphand et Durand-Claye, ingénieurs. — Constructeurs : Moisant, Laurent, Savey et Cie.)

Pont de Barbin, à Nantes (1885). — Le pont de Barbin, sur

l'Erdre, à Nantes, a une seule arche composée de sept fermes en fer de 80 mètres d'ouverture et de 7m,30 de flèche. La section des arcs présente la forme d'un double T. Dans le voisinage des naissances, chaque plate-bande des arcs qui ont des appuis avec charnières et cales se divise en deux parties : la première suit la direction générale de l'intrados et de l'extrados; l'autre, courbée en arc de cercle, vient se terminer au centre de la section de retombée (fig. 159) par une genouillère en acier emboîtant l'axe de rotation.

Le contreventement des arcs est réalisé : 1° par des poutres à

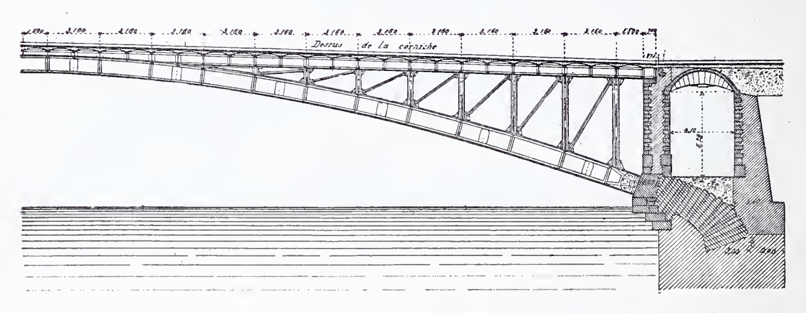


Fig. 159. — Pont de Barbin, à Nantes. (Demi-coupe longitudinale.)

treillis dirigées normalement au plan vertical de la fibre moyenne de l'arc; 2° par des fers à T assemblés avec les semelles inférieures des arcs de rive et des arcs placés immédiatement en arrière et formant une triangulation simple.

Les tympans sont rigides et sont constitués par une triangulation faite de montants verticaux et de pièces obliques. Le contreventement des tympans est obtenu par des pièces obliques qui rattachent la partie supérieure de chaque montant à la partie inférieure du montant de la même file plus rapprochée que lui du centre du pont. Pour les montants voisins des naissances, dont la hauteur est plus grande, le contreventement est doublé; le sommet et le milieu de chaque montant sont assemblés chacun avec une pièce oblique qui les relie respectivement avec le milieu et le

pied du montant suivant (fig. 160). En outre, un fer à T simple, constituant une traverse horizontale, relie les milieux de ces deux montants. De part et d'autre de la clef, le tympan est plein et est constitué par le longeron du tablier qui est rivé sur l'arc. Ce dernier se trouve, de la sorte, renforcé à la clef.

Le tablier a 12 mètres de largeur. Il est porté par sept longerons assemblés avec les montants de chaque ferme. La section des longerons est en forme de double T. Chaque file transversale des montants est couronnée par une pièce de pont en treillis, reliant entre eux les longerons des fermes voisines.

Le platelage du pont est constitué par des tôles embouties de $0^m,009$ d'épaisseur, rivées sur les longerons et les pièces de pont, et le platelage du trottoir formé par une tôle plate de $0^m,008$ d'épaisseur consolidée par des entretoises transversales en forme de T. La chaussée est pavée et les trottoirs sont asphaltés. La partie décorative de l'ouvrage a été très soignée. (Ingénieurs : MM. Kerviler et Resal. — Constructeur : Fourchambault-Commentry.)

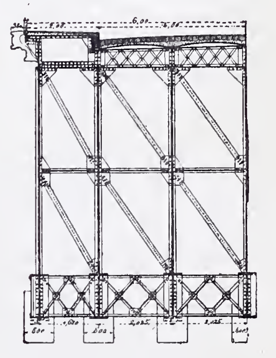


Fig. 160.
Pont de Barbin,
à Nantes.
(Demi-coupe transversale.)

Pont de Rouen (1888). — Le pont sur la Seine, qui remplace, à Rouen, le pont suspendu, se compose de trois arches de 40 mètres, $48^m,80$ et $54^m,60$ d'ouverture avec des flèches respectives de $2^m,50$, $3^m,70$ et $4^m,87$. Chaque arche, dont la largeur entre parapets est de 20 mètres, est formée de sept fermes dont les arcs ont à la clef des hauteurs respectives de $0^m,40$, $0^m,50$ et $0^m,60$ et aux retombées $0^m,65$, $0^m,80$ et 1 mètre. Les arcs reposent sur les maçonneries sans l'intermédiaire de charnières. Des voûtes en briques supportent le macadam. Un viaduc à deux travées, à poutres droites, au-dessus du quai de la rive gauche, sert d'accès au pont. Les arcs sont en acier (Ingénieurs en chef : MM. Lavoinne et Mengin. — Constructeur : Compagnie de Fives-Lille.)

Pont Morand, à Lyon (1890). — Le pont que le service de la navigation du Rhône a construit à l'emplacement de l'ancien pont en bois, se compose de trois arches en forme d'arc de cercle, construites entièrement en acier. L'arche centrale a une ouverture de $67^{m},50$ avec une flèche de 1/15,18 et les arches de rive 64 mètres avec 1/15,91. La répartition de l'ouverture totale de l'ouvrage entre les arches centrales et celles de rive a été déterminée de façon à réaliser l'équilibre des poussées de chaque côté des piles dans les conditions moyennes de température et à égalité de charge des arches contiguës. Le pont présente entre parapets une largeur de 20 mètres; savoir : une chaussée de 11 mètres et deux trottoirs de $4^{m},50$.

Chaque travée se compose de huit fermes. On a adopté pour les arcs la forme en caisson et on a réuni leurs plates-bandes par deux âmes verticales; extérieurement ils sont reliés par des poutres à treillis dans le voisinage des naissances, et à âme pleine sur le sommet où ils reçoivent le plus directement l'action des charges roulantes. Les semelles inférieures des arcs sont solidement contreventées par des fers à U qui forment triangulation sur toute la largeur du pont.

Les extrémités des arcs portent sur les piles et culées par l'intermédiaire de trois rotules placées au milieu et au droit de chaque plate-bande des arcs qui se prolongent avec toute leur épaisseur jusqu'à l'extrémité même de ces arcs.

Les tympans sont formés de montants verticaux constitués par deux plates-bandes en tôle réunies par un treillis. Ces plates-bandes, situées dans le plan même des âmes des arcs, s'évasent à leur partie supérieure, de façon à former une série d'arceaux en anse de panier dont l'ensemble constitue le longeron qui supporte le tablier (fig. 161). Normalement à l'axe du pont, les montants verticaux sont reliés entre eux par un contreventement énergique, constitué par des fers à T disposés en croix de Saint-André.

Le tablier du pont est complété par des pièces de pont en forme de double T, sous la chaussée, par des longerons secondaires de

même forme s'appuyant sur les pièces de pont à égale distance des longerons, et sous les trottoirs par de simples fers à T. Les espaces rectangulaires compris entre les entretoises et les longerons sont fermés par des tôles galvanisées embouties.

Toute la construction est en acier, y compris les rivets pour lesquels on a fait choix d'un acier doux. La décoration a été étudiée de façon à accuser nettement le système de construction du pont.

Pour la rivure de la charpente, les trous de rivets, percés au poinçon à un diamètre inférieur au diamètre définitif, ont été amenés à ce diamètre à l'alésoir.

La dépense pour le pont proprement dit a été d'environ 11,720 francs par mètre linéaire et de 586 francs par mètre carré en plan. (Le Creusot.)

Pont du Midi, à Lyon (1891). — Le pont pour route du Midi sur le Rhône, à Lyon, se compose de trois arches métalliques ; l'arche centrale de $68^m,500$ d'ouverture avec un surbaissement de 1/12,673 et les deux arches de rive de $62^m,500$ avec 1/13,951 (fig. 162) ; la largeur entre parapets est de 20 mètres. Chaque arche est composée de huit fermes. La section des arcs se compose d'une âme en tôle pleine, formée de deux parties découpées suivant la fibre moyenne et réunies par des couvre-joints, et de deux tables ou semelles. Une nervure centrale règne sur toute la longueur de l'arc. Des nervures, normales à l'arc moyen, maintiennent la rigidité de

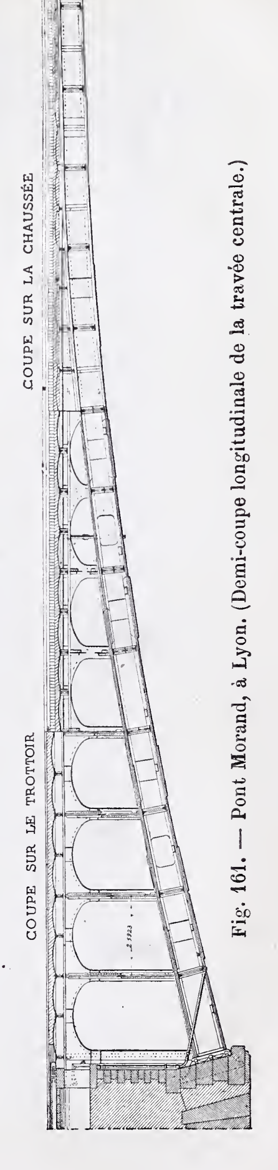


Fig. 161. — Pont Morand, à Lyon. (Demi-coupe longitudinale de la travée centrale.)

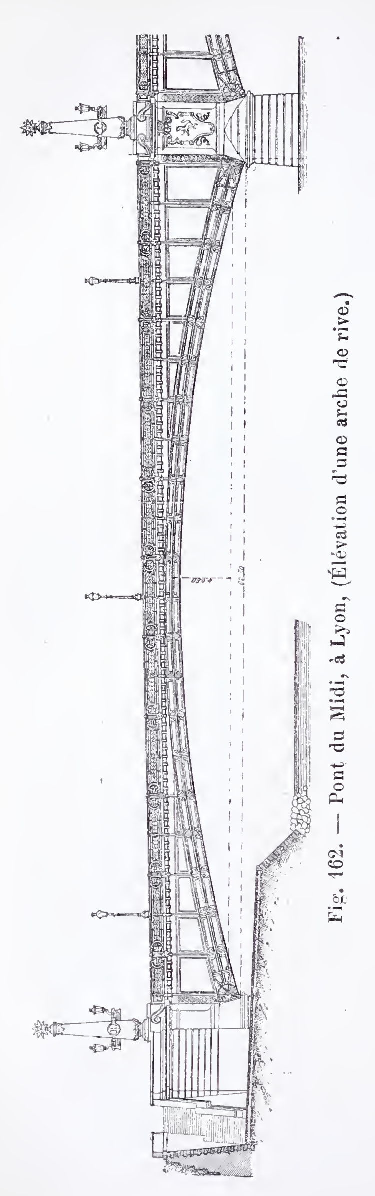


Fig. 162. — Pont du Midi, à Lyon, (Élévation d'une arche de rive.)

l'arc. Aux naissances les semelles viennent se réunir au milieu de l'arc et reportent les pressions sur un axe en acier. Des clavettes de serrage existent au droit des semelles qui ont aussi été prolongées jusqu'aux coussinets de retombée.

Les tympans, formés de montants verticaux équidistants, rivés sur les arcs, supportent le tablier qui est formé de tôles embouties rivées sur les pièces de pont et les longerons. Les arcs sont fortement contreventés en dessous et dans le sens transversal; les montants sont aussi reliés transversalement par des croix de Saint-André.

Toute la construction métallique est en acier, sauf les coussinets de retombée des arcs, les plaques d'appui, les corniches, les parapets et les appliques ornementales qui sont en fonte.

Des dispositions spéciales pour la dilatation ont été adoptées aux points de jonction des travées métalliques avec les piles et les culées. L'ossature métallique est rendue indépendante des maçonneries et peut se prêter à toutes les variations de température.

Le poids du métal par mètre superficiel est d'environ 612 kilogrammes et le coût correspondant



Fig. 163. — Pont des Messageries, à Saïgon.

de 250 francs environ. (Ingénieur en chef : M. Clavenad. — Constructeurs : Moisant, Laurent, Savey et Cie).

Pont des Messageries, à Saïgon (1882). — Le pont des Messageries (fig. 163) a une ouverture de 80 mètres et une largeur de 20 mètres. Il est très léger, son poids par mètre superficiel n'est que de 365 kilogrammes. (Maison Eiffel.)

2° A L'ÉTRANGER

Pont sur la rivière El-Cinça (1865). — Cet ouvrage ne comprend qu'une seule travée de 68 mètres d'ouverture avec $7^m,58$ de flèche qui franchit la rivière El-Cinça, en Espagne, à une hauteur de 35 mètres au-dessus du fond de la vallée. L'arche comprend quatre fermes et a une largeur de 6 mètres entre garde-corps. Les arcs ont une section en forme de double T, de $0^m,930$ de hauteur à la clef et de $1^m,286$ aux naissances. Les tympans sont formés de croix de Saint-André avec montants verticaux. Signalons qu'un arc intermédiaire relie les centres des croix de Saint-André et est ancré dans les culées à ses extrémités. La chaussée repose sur des tôles embouties.

C'est à cet ouvrage qu'a été appliqué pour la première fois, croyons-nous, le système de montage en *porte-à-faux*. On ne pouvait songer, par suite de la hauteur au-dessus de la vallée, à construire des échafaudages sans une dépense considérable; on a eu recours au procédé spécial suivant : on a monté chaque ferme comme si elle était coupée en deux parties égales, formant ainsi deux espèces de consoles triangulaires appuyées sur les plaques de retombée. Il fallait maintenir ces consoles à leur partie supérieure; à cet effet, on a ancré dans les massifs des culées les longerons et au-dessous d'eux les arcs intermédiaires; chaque moitié de ferme était donc, quel que fût son degré d'avancement, énergiquement reliée à la culée. Cette moitié était composée d'éléments trapézoïdaux préparés d'avance et conduits à leur place à l'aide de grues roulantes à double volée; la partie construite résultant de la juxta-

position de ces éléments servait de pont de service pour la partie à construire. Les monteurs se tenaient sur des tabliers mobiles sur rouleaux et suspendus par des chaînes qui permettaient de relever ces tabliers au fur et à mesure qu'on s'avançait vers le sommet. (Le Creusot.)

Pont de Pesth (1875). — Le pont grandiose et d'aspect monumental, sur le Danube, qui relie les deux villes de Buda et de Pesth (Hongrie), se compose de deux parties ou deux bras faisant entre eux un angle de 150 degrés et se réunissant à la partie cen-

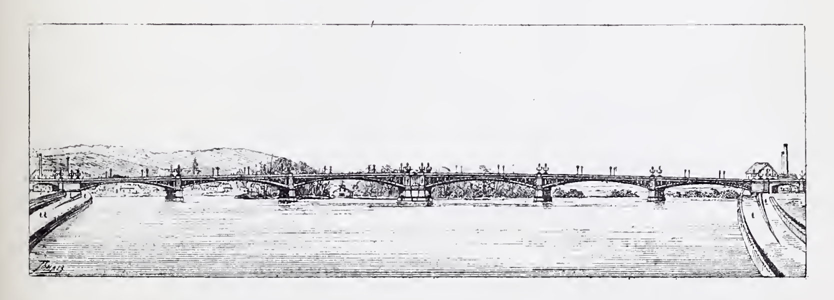


Fig. 164. — Pont sur le Danube, à Pesth.

trale sur une large pile formant rond-point. La longueur totale du pont mesure sur l'axe 570 mètres (fig. 164).

Les arches sont symétriquement placées par rapport au rond-point central ; deux arches ont $73^{m},50$ d'ouverture et $5^{m},13$ de flèche ; deux ont $82^{m},67$ et $6^{m},48$; enfin deux ont $87^{m},88$ et $7^{m},37$. Les surbaissements des diverses arches sont tels que les poussées soient les mêmes pour toutes les arches. Les fermes sont au nombre de six par arche. Les arcs sont constitués par des tubes à section rectangulaire ; leur hauteur à la clef varie suivant les travées de $0^{m},85$ à $0^{m},95$; aux naissances, elle est invariablement de $1^{m},50$. Les longerons sont formés de tubes rectangulaires à trois faces seulement. Les tympans sont formés de croix de Saint-André, avec montants verticaux.

La chaussée, composée d'une couche de béton, d'un plancher

et de pavés en bois, repose sur des plaques de tôle embouties; la largeur entre garde-corps est de $16^{m},75$.

La forme rectangulaire donnant une grande rigidité aux arcs et aux longerons, on n'a pas mis de contreventement vertical entre les arcs.

Les poids par mètre linéaire ont été pour les fers de 10,600 kilogrammes et pour les fontes de 1,370 kilogrammes. Le prix de la construction métallique s'est élevé à 4,500,000 francs; l'ensemble des dépenses a été de 10 millions de francs. (Maison Gouin.)

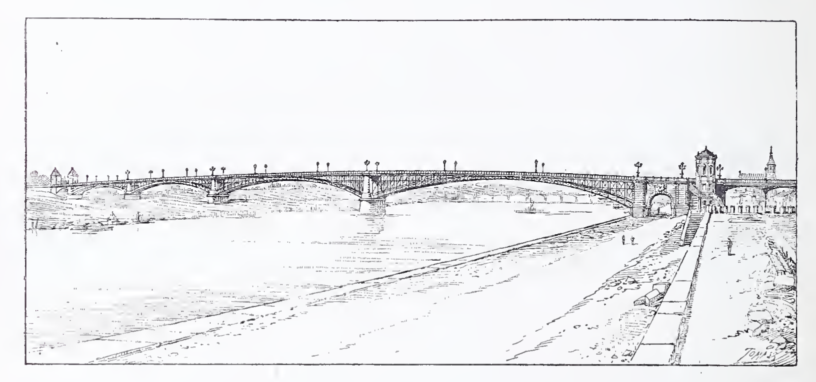


Fig. 165. — Pont de Szegedin.

Pont de Szegedin (1883). — Un grand ouvrage a été construit sur la Theiss, à Szegedin (Hongrie); sa longueur totale est de $606^{m},30$ (fig. 165). La travée correspondant à la navigation est formée par un arc parabolique de $110^{m},30$ de corde avec une flèche de $8^{m},60$ seulement, donnant un surbaissement de 1/13. Les trois autres travées ont 97, 86 et 66 mètres d'ouverture.

Les arcs sont au nombre de quatre dans chaque travée et ont pour la grande arche une hauteur de $2^{m},50$, près d'une pile, et de $1^{m},50$ à la clef. Les arcs sont composés d'un treillis double pour les deux grandes travées et simple pour les autres, avec montants verticaux et croix de Saint-André; ils reposent aux naissances sur des coussinets de faible largeur. La chaussée, de 11 mètres de



Fig. 166. — Pont de Mayence.

largeur, est supportée par des tympans formant palées qui s'appuient sur l'extrados des arcs. Signalons que l'on a supprimé les croisillons dans les tympans, ce qui donne à l'ensemble de l'ouvrage un aspect de grande légèreté. Le poids des parties métalliques est, d'ailleurs, notablement inférieur aux moyennes ordinaires.

On a appliqué au montage de la grande travée le procédé de montage en porte-à-faux, et par suite supprimé l'échafaudage dans la passe de navigation. Le prix total de l'ouvrage a été de 3,250,000 francs.

Les pavillons de péage, les maçonneries des culées et des piles contribuent par leur style à la décoration du pont. (Maison Eiffel.)

Pont de Mayence (1885). — Le pont de Mayence, sur le Rhin, est très monumental; il se compose de cinq arches, dont une centrale de 102 mètres, deux intermédiaires de 98 mètres et deux de rive de 86 mètres (fig. 166).

Les arcs, au nombre de quatre par travée, sont formés de panneaux en croix de Saint-André. Ce qui caractérise le pont, c'est la minceur des palées qui forment les tympans et qui supportent les longerons; la chaussée repose sur des voûtes en briques et les trottoirs sur des tôles embouties. La largeur entre garde-corps est de $13^{m},60$.

Le passage d'une voiture en vitesse occasionne une trépidation très sensible à l'ouvrage.

Viaduc, dit pont Luiz Ier, sur le Douro, à Porto (1885). — Ce pont a remplacé un pont suspendu de 170 mètres de portée; il est du même type que le pont Maria Pia, mais à deux étages, dont le premier relie les deux rives du fleuve et le second les côteaux de Villanova et de Gaïa (fig. 167). Ce dernier étage est formé d'un tablier de $391^{m},75$ de longueur porté par un grand arc de $172^{m},50$ d'ouverture et par des piles en fer. La hauteur au-dessus de l'étiage est de 10 mètres environ pour le pont inférieur et de $62^{m},25$ pour le sommet de l'arc.

Les membrures inférieures et supérieures de l'arc ont été réunies, aux naissances, par un encadrement en tôles et fontes qui

laisse un débouché pour le pont inférieur. La membrure supérieure de l'arc ne s'appuie pas sur la pile qu'elle tendrait à renverser; mais tout l'arc repose par la membrure inférieure sur les piles-culées au moyen de rotules en acier.

Le tablier supérieur est formé de poutres en croix de Saint-André de 5 mètres de hauteur; elles sont fixées sur les arcs avec lesquels elles font corps et sur les palées des reins; elles sont portées sur les piles par des appareils de dilatation. La largeur



Fig. 167. — Viaduc Luiz Ier, sur le Douro, à Porto.

entre les garde-corps est de 8 mètres, dont 6^m^,50 pour la chaussée qui repose, ainsi que les trottoirs, sur des tôles embouties.

Le tablier du pont inférieur est supporté par des suspensions verticales constituées par une âme, quatre cornières et une semelle placée du côté extérieur; les poutres portent sur des sabots.

Les arbalétriers des piles ont la section d'une grande cornière, avec arête et bords renforcés.

Le poids total du métal s'élève à près de 3,200,000 kilogrammes. La dépense se monte à 2,300,000 francs.

Les quatre ouvrages suivants sont du même type, qui rappelle celui du viaduc Maria-Pia, sur le Douro. (M. Seyrig, ingénieur.)

Viaduc sur le Schwartzwasser (1882). — Le viaduc de la route de Berne, à Schwarzenburg (Suisse), est formé d'un arc de 114 mètres d'ouverture sur lequel est placé le tablier, à 63 mètres au-dessus du niveau de l'eau dans la vallée. Le tablier s'appuie sur des montants verticaux en double T, espacés de 5^m,76, repo-

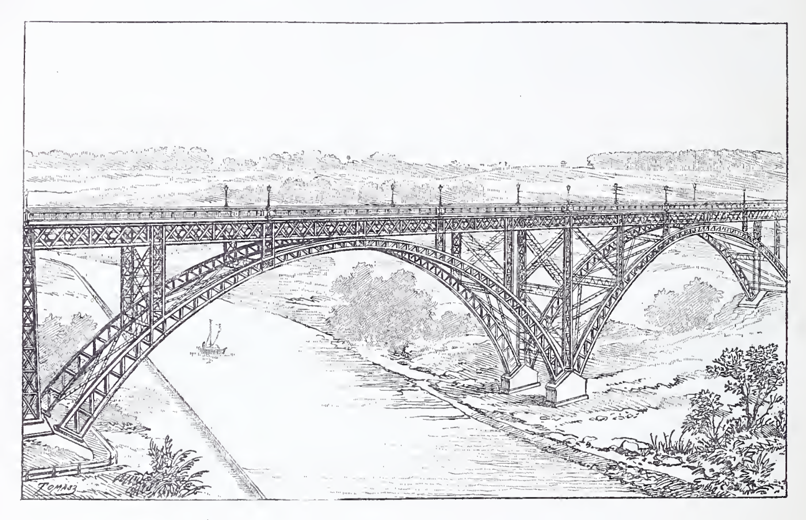


Fig. 168. — Pont de Kirchenfeld, à Berne.

sant soit sur l'arc, soit, à gauche et à droite de cet arc, sur des soubassements en maçonnerie.

L'arc est constitué par deux membrures en T reliées par un treillis ; il a 3^m,50 de hauteur aux naissances et 1^m,50 à la clef.

Le montage a été effectué à l'aide de pylônes.

Viaduc du Javroz (1877). — Cet ouvrage, situé sur la route de Bulle à Boltingen (Suisse), a été construit avant celui sur le Schwartzwasser. Ils sont tous les deux du même modèle. Mais le viaduc du Javroz a des dimensions moindres. L'ouverture de l'arche est de 85^m,78 et sa hauteur au-dessus du Javroz de 56 mètres.

Pont de Kirchenfeld (1883.) — Un pont de deux travées en arc réunit deux faubourgs de Berne, séparés par l'Aar (fig. 168).

Les deux arches ont 81 mètres d'ouverture et environ 25 mètres de flèche. La hauteur du tablier, qui est en pente d'environ 0^{m},022 par mètre, est de 34^{m},50 au-dessus de la vallée, au droit de la pile du milieu. Sa largeur est de 13^{m},20 entre les parapets. Les tympans sont des palées en treillis. Les travées sont discontinues de palée à palée. Le plancher supportant la chaussée est en fer zorés. (M. Probst, ingénieur des ateliers de MM. Ott et Cie, de Berne.)

Pont Washington, à New-York. — Les Américains ont construit à New-York, sur le Harlem-River, un pont à deux arches en acier remarquables, comme celles du pont de Saint-Louis, par

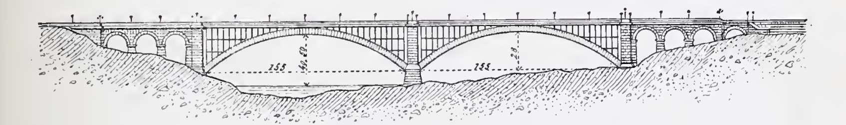


Fig. 169. — Pont Washington, à New-York.

leur portée qui est de 155 mètres pour chacune d'elles (fig. 169). Ce pont donne passage à une voie carrossable de 15 mètres de largeur, avec trottoirs latéraux de 4^{m},50, ce qui fait une largeur totale de 24 mètres. La hauteur libre, entre le niveau de l'eau et le tablier de l'arche fluviale, est de 40 mètres.

Chaque travée métallique est constituée par six arcs dont les extrémités reposent librement sur des articulations. Ces arcs ont une hauteur uniforme de 3^{m},90 et sont formés d'une âme pleine en acier doux et de deux semelles.

Les arcs sont contreventés trois à trois dans les plans des deux semelles et dans des plans perpendiculaires. Tous ces contreventements sont en acier.

Des montants verticaux, constitués par des poutres cloisonnées dont deux faces sont en treillis, s'élèvent au-dessus des arcs et soutiennent le tablier. Ces montants sont fixés d'une manière rigide sur les semelles d'extrados des arcs et entretoisés dans le sens transversal et dans le sens horizontal par des tirants.

Le tablier est en tôle emboutie recouverte d'un béton léger sur lequel repose la chaussée.

Les dépenses se sont élevées à 14,062,000 francs.

C. — *Ponts pour chemins de fer et routes.*

Viaduc de Paderno (1889). — Ce viaduc, construit sur l'Adda, près du village de Paderno, se compose d'un tablier continu de 266 mètres de longueur et d'un arc de 150 mètres d'ouverture mesurée entre les sabots d'acier des retombées. Le dessous des poutres du tablier est à une hauteur de 74 mètres au-dessus du niveau de l'eau. Le pont sert à la fois pour une voie ferrée et pour une route.

La route est placée à la partie supérieure des poutres du tablier et a une largeur de 7 mètres; la voie ferrée est à la partie inférieure des poutres.

Le montage de l'arc, au lieu d'avoir été fait par le système en porte-à-faux employé par la maison Eiffel aux ouvrages du Douro et de Garabit, a été exécuté au moyen d'un pont de service. Le pont de service, supporté par six palées, était à $73^{m},47$ au-dessus du niveau de la rivière. Sur ce pont circulaient les grues servant au levage et à la pose des pièces du pont. Un deuxième pont de service, sur lequel était installée une voie, se trouvait à une hauteur de $27^{m},36$; il reliait les deux culées de l'arc. Une plate-forme de service était, en outre, établie sur l'une des rives de la rivière.

Pont de Saint-Louis (1874). — Les ouvertures des trois arches dont se compose le pont de Saint-Louis, construit sur le Mississipi, sont les plus grandes qui aient été adoptées jusqu'ici pour des arcs de cercle très surbaissés. Ces ouvertures, motivées par la profondeur qu'il aurait fallu donner à des piles fondées dans la rivière, sont de $158^{m},50$ pour l'arche centrale et de 153 mètres pour les deux autres. Le surbaissement de la première serait de 1/9 (fig. 170).

On a employé l'acier au lieu du fer dans la construction du pont, afin de réduire autant que possible le poids mort.

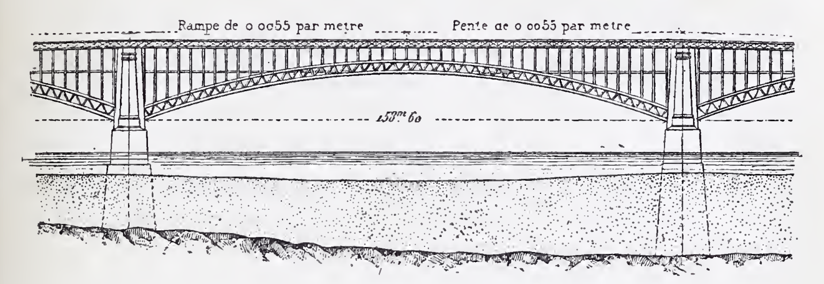


Fig. 170. — Pont de Saint-Louis, sur le Mississipi. (Élévation partielle.)

Chaque arche comprend quatre fermes inégalement espacées. Entre chaque ferme de rive et la ferme intermédiaire voisine et à leur partie inférieure se trouve une voie de fer. Au-dessus des fermes règne une chaussée réservée au passage des piétons, des voitures et des tramways (fig. 171).

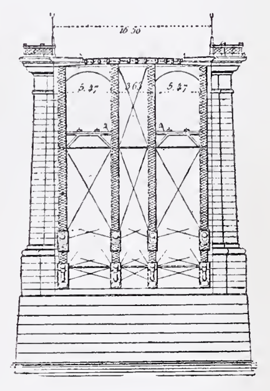


Fig. 171. Pont de Saint-Louis, sur le Mississipi. (Coupe transversale près des naissances.)

Chaque arc est composé de deux tubes parallèles d'acier, distants l'un de l'autre de $3^m,66$ et reliés par des diagonales. Le diamètre extérieur de ces tubes est de $0^m,457$, et leur épaisseur varie de $0^m,062$, aux naissances, jusqu'à $0^m,03$, à la clef. Les tronçons de tube, de $3^m,60$ de longueur, sont réunis par des manchons d'assemblage. Ces manchons sont traversés par des boulons sur lesquels sont articulées des lames de fer reliant les deux tubes entre eux; ces lames sont elles-mêmes réunies par des treillis.

Des contreventements relient les fermes dans le sens transversal, sauf dans les compartiments où passent les voies de fer.

Il n'y a pas d'articulations aux naissances; l'arc est encastré.

Le procédé employé pour le montage des arches est à signaler.

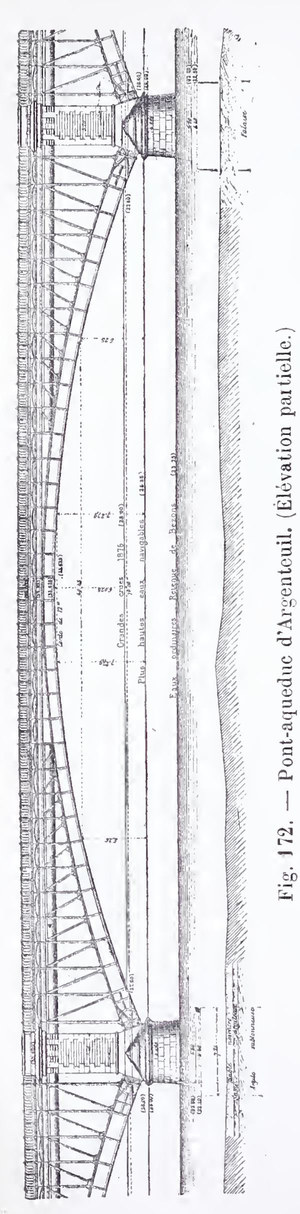


Fig. 172. — Pont-aqueduc d'Argenteuil. (Élévation partielle.)

En raison de la violence du courant et de la nature du lit de la rivière, l'installation d'échafaudage était impraticable. Aussi avait-on résolu de s'appuyer sur les piles et les culées pour exécuter le montage. On faisait cheminer l'une vers l'autre les deux moitiés d'un même arc. On mettait d'abord en place dans chaque ferme les éléments des tubes, dont les premiers étaient solidement fixés dans les coussinets des naissances ; on montait ainsi les tubes jusqu'au quart de l'ouverture. Puis, au moyen de haubans partant du sommet de tours en charpentes établies sur les piles, on maintenait exactement la position des extrémités des fermes déjà montées. Sur ces nouveaux points d'appui ainsi déterminés, on établissait des mâts recevant à leur extrémité supérieure un deuxième câble dont une extrémité était amarrée aux coussinets des naissances et dont l'autre portait la partie de ferme restant à monter. Dans chaque travée, c'est le montage des arcs et des fermes intermédiaires que l'on a poussé avec le plus d'activité ; puis on s'est servi de ces fermes comme échafaudage pour la mise en place des fermes de rive.

Le poids total par mètre courant de travée est de 12,000 kilogrammes. La dépense totale de construction de l'ouvrage a dépassé 33 millions. (Ingénieurs : MM. Eads, Flad et Pfeifer.)

D. — *Ponts-aqueducs.*

Pont-aqueduc d'Argenteuil. — La ville de Paris, non seulement établit de nouvelles amenées d'eau potable, ainsi que nous l'avons dit, mais s'occupe aussi de conduire une partie de ses eaux usées pour leur épuration à l'extrémité nord-est de la presqu'île de Saint-Germain, au moyen de l'aqueduc d'Achères. Cet aqueduc qui part de Clichy comporte, entre autres ouvrages, un pont au moyen duquel il doit franchir la Seine près d'Argenteuil. Cet ouvrage qui est actuellement en construction doit aussi servir de pont-route.

Il est composé de trois arches : une arche centrale de 70 mètres de portée et deux de rive de 67 mètres, et d'un petit viaduc à poutres droites de 8 mètres d'ouverture au-dessus d'une route latérale à la Seine (fig. 172). L'ensemble livre passage à une chaussée de $6^{m},50$ avec deux trottoirs de $1^{m},50$ et supporte quatre conduites en tôle d'acier de $1^{m},10$ de diamètre. Chaque arche comprend cinq fermes ; chaque ferme est formée d'un arc dont la hauteur décroît des naissances, où elle a $1^{m},50$, jusqu'à la clef, où elle est réduite à $1^{m},10$. La section de l'arc présente la forme d'un double T. Le support aux naissances est d'un système mixte, c'est-à-dire avec charnières au centre et cales aux extrémités. Les tympans sont formés d'une triangulation dont les éléments sont assemblés invariablement avec les arcs et les longerons du tablier. Ceux-ci ont $0^{m},50$ de hauteur et sont reliés par des pièces de pont. Le platelage du pont est constitué par des tôles concaves sur lesquelles repose la chaussée pavée en bois. Deux trottoirs sont placés en encorbellement. Les contreventements, en croix de Saint-André, des tympans portent à leur partie supérieure des entretoises sur lesquelles reposent les quatre conduites d'eau ; elles sont fixées aux entretoises par des colliers boulonnés. (MM. Bechmann et Launay, ingénieurs ; Société des ponts et travaux en fer, constructeur.)

CHAPITRE IV

Ponts suspendus.

C'est à la fin du dernier siècle que l'on rencontre les premiers exemples d'un plancher suspendu horizontalement à des chaînes tendues. En Angleterre, le pont de Berwick, de 110 mètres de longueur, fut jeté en 1819 sur la rivière Tweed, et quelques années après on y construisit le pont de Menai, de 177 mètres de longueur. Vers 1830, en France, un certain nombre de ponts suspendus étaient déjà établis, et leur nombre alla en croissant jusqu'en 1850. Mais, vers cette époque, plusieurs graves accidents étant survenus, l'enthousiasme produit par les premiers ponts se ralentit.

On n'en construisit plus que rarement de nouveaux et on en remplaça quelques-uns par des ponts fixes.

Mais, après les résultats satisfaisants obtenus en Amérique à la suite de modifications apportées dans l'exécution des ponts suspendus, on en a essayé en France de nouvelles applications.

Les règles sur lesquelles reposent les conditions d'établissement des ponts suspendus, en France, ont été établies d'après les mémoires et formules de Navier et de Jullien. Nous renvoyons, pour l'étude de ces règles, aux mémoires de ces deux ingénieurs et aux ouvrages spéciaux tels que celui de Morandière. Des circulaires ministérielles prescrivent les conditions auxquelles doivent satisfaire les ponts suspendus.

D'une façon générale, un pont suspendu est constitué, comme il suit, dans ses parties essentielles :

Des câbles de suspension décrivant une parabole sont jetés au-dessus de l'espace à franchir ; à ces câbles est suspendu le tablier au moyen de tirants ou tiges de suspension.

Les câbles de suspension s'appuient au sommet de portiques ou piliers par l'intermédiaire de rouleaux de friction ou de coussinets oscillants (fig. 176), puis ils sont rattachés à un point fixe situé en arrière au moyen de câbles de retenue (fig. 174).

Les tirants sont munis, à leur partie inférieure, d'étriers ou de consoles qui supportent les poutrelles transversales du tablier.

Les câbles de suspension ont d'abord été constitués avec des barres ou des lames de fer, mais depuis longtemps on ne fait plus usage que de câbles faits en fils de fer qui présentent, à égalité de section, une résistance double des premières.

Les tiges de suspension sont faites tantôt en fils de fer, tantôt en barres de fer.

Les tabliers et les câbles subissent des changements de formes

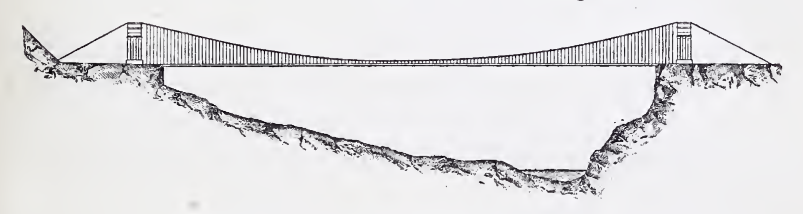


Fig. 173. — Pont de Fribourg. (Élévation.)

continuels, qu'il est désirable d'éviter; c'est même indispensable pour les ponts supportant des voies de fer. On a cherché dans ce but à rendre le tablier rigide. Un premier moyen consiste à former le tablier d'une poutre qui puisse se tenir d'elle-même; un second moyen est de disposer les câbles de manière à constituer des panneaux indéformables.

Dans quelques ponts, à l'origine, on a remplacé les câbles et les tirants par des haubans, mais cette disposition a été vite abandonnée. Par contre, on a employé des haubans dits de rigidité, concurremment avec les câbles (fig. 177).

Ces principes posés, nous allons décrire quelques-uns des principaux ponts suspendus.

Pont de Fribourg (1834). — Un pont de $271^{m},46$ d'axe en

axe des portiques a été construit à Fribourg (Suisse) (fig. 103). Le tablier a une longueur de 246 mètres, et se trouve situé à 51 mètres au-dessus des eaux de la Sarine. Il est suspendu au moyen de quatre câbles, deux de chaque côté du pont, composés chacun de 1,056 fils de fer. Leur diamètre n'est que de $0^m,13$ à $0^m,14$.

Les câbles d'amarrage sont fixés au fond de puits verticaux en maçonnerie du diamètre nécessaire pour leur passage; une galerie permet de visiter les amarrages.

Le poids permanent du tablier et du système de suspension est de 300 tonnes.

Le pont de Fribourg présente un aspect de légèreté remarquable. (M. Chaley, ingénieur.)

Les ponts de la Roche-Bernard, de Lorient et de Pesth sont du même type que celui de Fribourg.

Pont de la Roche-Bernard (1836). — C'est surtout la situation de ce pont, à l'embouchure de la Vilaine, où il est exposé à de violentes tempêtes, qui le rend intéressant. L'ouverture est de 187 mètres entre les culées, et la hauteur de 33 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Les câbles de suspension étaient, au début, au nombre de quatre, composés chacun de 1,048 fils; les tiges de suspension étaient des barres de fer de $0^m,03$ de diamètre. Le poids permanent était de 1,440 kilogrammes par mètre linéaire.

Le pont était achevé en 1836; mais en octobre 1852, pendant une tempête, le tablier et les câbles se sont rompus et sont tombés dans la rivière; les maçonneries n'ont pas bougé. Les ingénieurs ont attribué la catastrophe : 1° à la grande mobilité du système de suspension; 2° à l'état de vétusté des pièces de charpente qui reliaient les poutrelles du plancher; 3° à l'absence de tout moyen de fixation des poutrelles sur les étriers; 4° enfin, principalement aux oscillations verticales, ainsi qu'au balancement et au soulèvement pendant la tempête.

Quand on a réparé le pont on a naturellement modifié les parties qui avaient paru laisser à désirer et, pour le consolider, on

a ajouté des contre-câbles inférieurs au tablier ; on a donné ainsi à la travée une très grande fixité.

Un nouvel accident est survenu en 1866, encore pendant une tempête, mais les avaries ont été moindres : les amarres d'un des câbles inférieurs s'étaient rompues. (M. Leblanc, ingénieur.)

Pont de Lorient (1847). — Ce pont, construit sur le Scorff, a une longueur de 184 mètres, et une faible hauteur au-dessus des eaux.

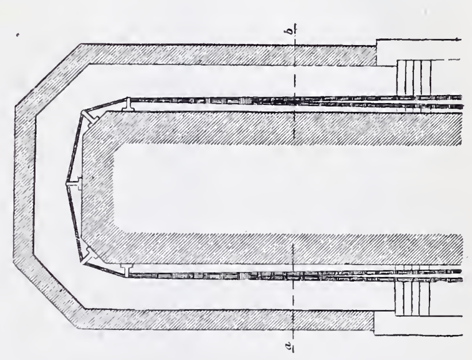


Fig. 174. — Pont de Lorient.
(Plan du massif et des galeries d'amarrage.)

Les câbles en fils de fer sont continus ; ils passent dans des galeries ménagées dans les culées (fig. 174) ; de chaque côté du pont se trouvent deux câbles de suspension et ils restent distincts jusque dans l'intérieur des galeries où ils sont continués par les câbles de retenue. Les câbles s'appuient sur des rouleaux de friction placés au-dessus des portiques.

Le poids permanent du pont est de 1,480 kilogrammes par mètre linéaire.

Sous la charge d'épreuve de 1,240 kilogrammes par mètre linéaire, le pont s'est abaissé de. . . . . $0^m,30$

Après le déchargement, il s'est relevé de. . . . . . . $0^m,20$

L'abaissement après épreuve a donc été de. . . . . . $0^m,10$

Pont de Pesth (1846). — Ce pont, établi sur le Danube, à Pesth, est à citer à cause de son caractère monumental. Il se compose de trois travées : une travée centrale de 203 mètres de longueur d'axe en axe des points d'appui, et deux travées latérales. La longueur totale est de 460 mètres, culées comprises. La largeur de la chaussée est de 7 mètres, et celle des trottoirs de 2 mètres.

Les tiges de suspension sont doubles de chaque côté, et s'attachent au tablier entre la chaussée et les trottoirs. Grâce à cette disposition, la portée des pièces de pont a été diminuée.

Certains ponts ont été construits avec des supports oscillants. Le plus ancien est celui de Bry-sur-Marne, construit en 1832, puis celui de Port-Boulet, élevé en 1837 sur la Loire, et comprenant plusieurs travées, etc. Mais ce système a été abandonné à la suite de plusieurs accidents.

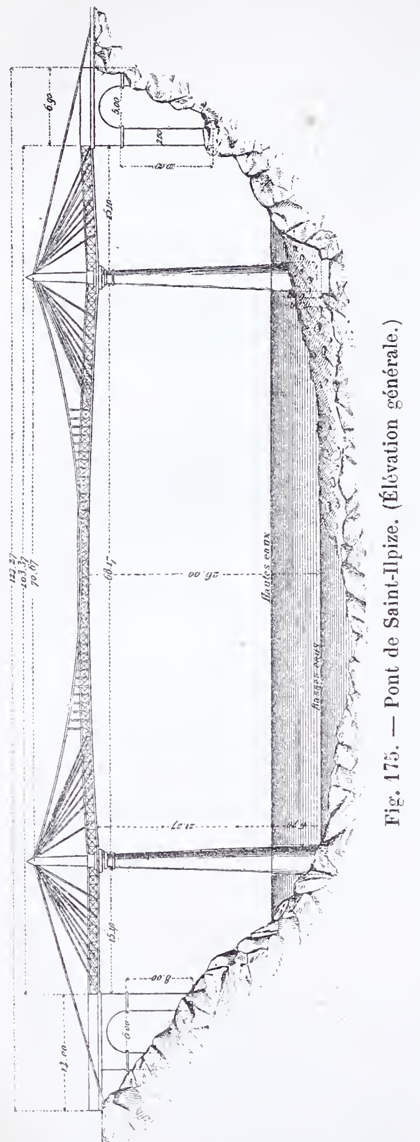


Fig. 175. — Pont de Saint-Ilpize. (Élévation générale.)

Parmi les nouvelles applications faites en France, on doit citer :

Pont Saint-Ilpize (1879). — Ce pont, construit sur l'Allier, se compose de trois travées, dont une de 68 mètres, et deux de 15 mètres d'ouverture (fig. 175). Il n'a que 4 mètres de largeur entre garde-corps. Des haubans supportent les petites travées ainsi qu'une longueur de 15 mètres à chaque extrémité de la grande travée. Le reste de cette travée est suspendu à deux câbles paraboliques. Les plans des haubans et des

câbles présentent chacun un fruit de 1/10, dans le but de diminuer les oscillations. Les haubans et les câbles sont formés de fils de fer tordus; les tiges de suspension sont en fers droits.

Chacun des câbles est attaché à un secteur en fonte dont les deux joues sont réunies par un boulon en fer, et qui est placé au sommet du pilier.

Le tablier en bois est raidi par un garde-corps formé d'une poutre armée. (MM. Jollois et Arnodin, ingénieurs.)

Pont de Lamothe (1883). — Ce pont, construit sur l'Allier, ne comprend qu'une seule travée de 115 mètres d'ouverture, soutenue à ses deux extrémités sur une longueur d'environ 10 mètres par des haubans, et pour le reste par des câbles. Les câbles de suspension et de retenue et les haubans sont attachés, au sommet des piliers, à un arbre horizontal en fer reposant sur un chariot en fonte qui se déplace sur des rouleaux en fer (fig. 176).

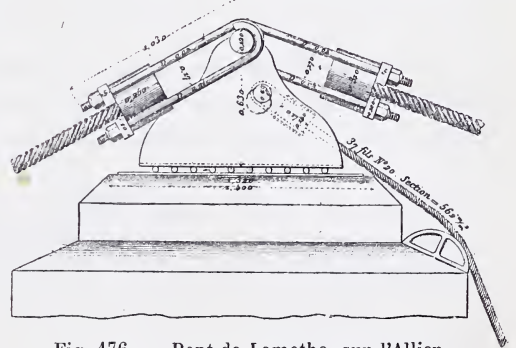


Fig. 176. — Pont de Lamothe, sur l'Allier. Assemblage des câbles et haubans sur les piles. (Élévation.)

Les câbles de suspension sont au nombre de cinq de chaque côté. Les câbles de retenue, au nombre de six de chaque côté, contournent le massif d'amarrage, et vont sans discontinuité d'un pilier à l'autre. Ils sont serrés dans le parcours de la galerie par des mâchoires qui s'opposent à leur glissement, et sont écartés des maçonneries par des blocs en fonte. La visite est par là rendue très facile.

Les câbles et haubans sont composés, les premiers, de 133 fils qui forment 7 torons de 19 fils chacun, et les seconds de 37 fils, qui ne présentent qu'un seul toron. Les tiges de suspension sont composées de 52 fils.

Le tablier est presque entièrement métallique. Les poutrelles ont une section en double T ; elles pèsent 75 kilogrammes le mètre linéaire ; elles sont reliées par une longrine placée au milieu du pont et par un contreventement formé de diagonales en fer plat.

Le garde-corps forme une sorte de poutre articulée.

Le poids du tablier est de 1,462 kilogrammes par mètre courant. (MM. Jollois et Arnodin, ingénieurs.)

Ponts en Amérique.

Ce qui différencie les ponts construits en Amérique des ponts construits en France, sauf les plus récents qui ont été imités partiellement des ponts américains, c'est la rigidité qu'on cherche à

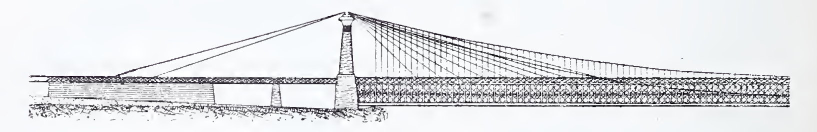


Fig. 177. — Pont d'aval du Niagara. (Demi-élévation.)

leur donner en les constituant par de véritables poutres ou en disposant les câbles de manière à former des panneaux indéformables (fig. 180) ; c'est aussi l'adoption de haubans supérieurs reliant aux piliers les parties des tabliers voisines de ces piliers et de haubans inférieurs rattachant le tablier aux culées ou au sol (fig. 179) ; c'est enfin l'inclinaison des plans de tête des câbles de telle sorte que leur écartement soit plus grand dans le haut que dans le bas, ce qui augmente la stabilité.

Pont d'aval du Niagara (1855). — Ce pont (fig. 177), d'une portée de 250 mètres, se compose de deux tabliers situés à 7 mètres l'un au-dessus de l'autre ; le tablier supérieur porte une voie de fer et le tablier inférieur une route (fig. 178). Les câbles, au nombre de quatre, sont reliés par des tiges, deux au plancher supérieur et deux au plancher inférieur. Des haubans partent des

pilastres et se rattachent au tablier sur une longueur de 75 mètres à partir de ses extrémités.

L'ensemble des deux tabliers était à l'origine porté par deux poutres en bois et en fer. Dans la suite on a remplacé par de l'acier les pièces en bois des fermes ainsi que celles des planchers. Le platelage a été maintenu en bois. (John Rœbling, ingénieur.)

Pont de Pittsburg (1860). — Ce pont, établi sur l'Alléghany, comprend deux travées centrales de 105 mètres et deux travées de rive. Les câbles sont au nombre de quatre. La largeur du tablier est de 12 mètres ; elle est divisée en trois parties : une chaussée centrale de 6 mètres portant aussi deux voies de tramways et deux trottoirs latéraux de 3 mètres, avec des garde-corps à treillis. Les supports des câbles sont des tours en fonte. Il existe des haubans de part et d'autre de chaque pile.

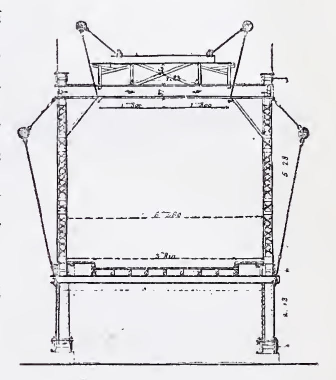


Fig. 178.
Pont d'aval du Niagara.
(Coupe transversale.)

Coût de l'ouvrage : 1,500,000 francs.

Pont de Cincinnatti (1867). — Construit à une hauteur de 30 mètres au-dessus de l'Ohio, il comporte une travée de 322 mètres et deux travées de 85 mètres.

Le plancher est formé d'une partie centrale de $6^m,60$, donnant passage aux voitures et à deux voies de tramways, et séparée des trottoirs par deux poutres du système Linville, de $3^m,10$ de hauteur ; des poutres de hauteur moindre bordent les trottoirs. Une armature inférieure complète la rigidité du pont. Les pièces de pont sont en fer laminé. Les câbles sont au nombre de deux, de $0^m,31$ de diamètre ; le pont est muni de haubans.

Coût de l'ouvrage : 9,000,000 de francs. (M. Rœbling, ingénieur.)

Niagara Falls Bridge (1860). — Ce pont, construit en aval des chutes du Niagara, est à proprement parler une passerelle ; mais elle

atteint la portée énorme de 386 mètres et la hauteur de 58^{m},40 au-dessus des eaux (fig. 179). Sa largeur n'est que de 3^{m},05. Les câbles de suspension, au nombre de deux, de 0^{m},18 de diamètre, sont écartés de 12^{m},80 au sommet des piliers faits en charpente et de 3^{m},66 au milieu de la travée. Douze haubans s'étendent jusqu'à environ un quart de la portée. Le tablier est de plus relié à diffé-

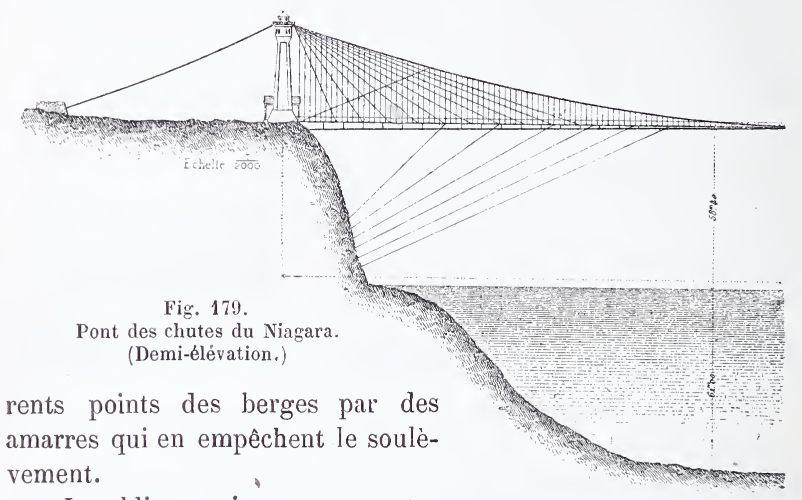


Fig. 179.
Pont des chutes du Niagara.
(Demi-élévation.)

rents points des berges par des amarres qui en empêchent le soulèvement.

Le tablier consiste en une poutre du système Howe, en charpente, de 1^{m},50 de hauteur dont les semelles inférieures supportent les pièces de pont.

La dépense s'est élevée à 600,000 francs. (M. Samuel Keefer, ingénieur.)

Point Bridge (1877). — Construit sur le Monongahela, près de Pittsburg, ce pont est remarquable par sa rigidité et sa résistance aux déformations que peut occasionner le passage des charges mobiles. Il comporte une travée suspendue de 244 mètres, encadrée de 2 travées fixes de 44^{m},23 chacune (fig. 180).

Les chaînes de suspension sont formées de barres assemblées à œil, auxquelles viennent s'attacher les tiges de suspension qui forment elles-mêmes de petites barres à treillis.

Pour augmenter la rigidité du pont, on a placé au-dessus de chaque câble deux entraits métalliques allant du sommet des piliers au niveau du milieu de la travée; puis on a placé entre les entraits et les câbles des bielles et des diagonales formant croix de Saint-André.

Les câbles de suspension sont reliés entre eux par des entre-

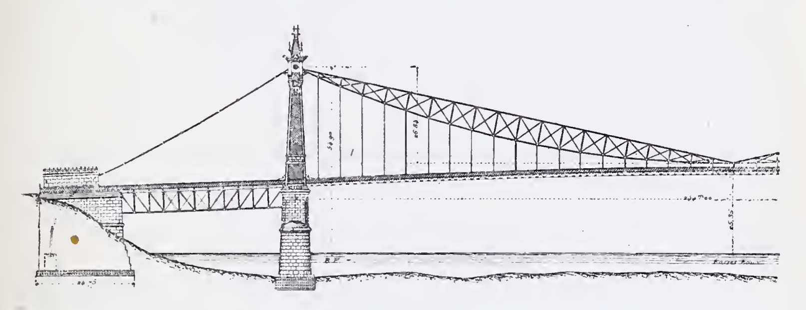


Fig. 180. — Pont sur le Monongahela, près de Pittsburg. (Demi-élévation.)

toises et des croix de Saint-André; il en est de même des deux entraits.

Le tablier est porté par des fermes de $2^m,40$ de hauteur (système Pratt).

La chaussée du pont a $6^m,09$ de largeur et porte deux voies de tramways sur la voie carrossable; les trottoirs ont $1^m,82$ de largeur chacun.

Coût de l'ouvrage : 2,500,000 francs, soit 6,580 francs par mètre linéaire. (M. E. Hemberlé, ingénieur.)

Pont de Brooklyn (1883). — C'est le géant des ponts suspendus.

Il sert à relier Brooklyn et New-York en franchissant l'East-River (fig. 181). La longueur totale de l'ouvrage est de $1,825^m,40$ et comprend : une travée centrale de $486^m,50$ de longueur, deux travées de rive de $286^m,70$ chacune et deux viaducs d'accès de $296^m,20$ et de $476^m,40$. La hauteur de la voie par rapport aux hautes mers est de $41^m,20$ au milieu de la grande travée. La

flèche du tablier est de $5^m,50$. La hauteur des piles au-dessus des hautes mers est de $84^m,50$. La largeur totale du tablier est de $26^m,20$. Les diverses voies ménagées pour la circulation consistent : au centre du pont, en un passage supérieur pour piétons, de $4^m,75$ auquel on accède par des escaliers placés aux extrémités; de chaque côté de ce passage, en deux compartiments contenant une voie ferrée de $3^m,86$ pour le passage des trains dont la traction est faite par des câbles, les machines ne devant pas passer sur le pont; enfin en deux voies charretières de $5^m,72$ de largeur. La fig. 182 donne la vue transversale de la moitié du pont. Les poutres qui forment les compartiments donnant passage aux trains ainsi que celles qui limitent les voies charretières et servent de garde-corps, contribuent notablement à assurer la rigidité de l'ouvrage. La partie métallique du pont est en acier.

Les câbles de suspension, au nombre de quatre, pénètrent horizontalement dans la culée où ils se rattachent aux chaînes d'ancrage, au nombre de dix pour chaque câble, qui viennent s'attacher sous des plateaux d'ancrage en forme d'étoile après avoir décrit une courbe sur la maçonnerie. Chaque câble est formé de dix-neuf faisceaux, comprenant chacun 278 fils d'acier, et a un diamètre de $0^m,40$. Des haubans inclinés s'étendent de chaque côté des piles sur une longueur du tablier égale au quart de la grande travée. Des câbles horizontaux partant des piles et disposés en triangles ont pour but de réduire les oscillations latérales du plancher.

Les câbles sont continus et reposent au haut des piles sur des coussinets spéciaux; les haubans sont attachés au-dessous des câbles. La pose des câbles a présenté de grandes difficultés; Croizette Desnoyers en donne les détails suivants dans son Cours de construction des ponts : On a commencé par monter sur les piles un très petit câble de $0^m,02$ de diamètre, et on en a relié à celui-ci un autre passant sur la seconde pile, de manière à constituer un câble sans fin qui s'enroulait sur le tambour d'une machine de rotation installée entre la pile de New-York et la culée correspondante; puis on a installé un autre câble semblable et on



Fig. 181. — Pont de Brooklyn.

est arrivé assez promptement à établir un petit pont de service, formé seulement de madriers reliés par 2 longrines et portant sur des câbles plus forts que les précédents. On est parvenu ensuite, au moyen d'un câble de travail se mouvant d'une manière continue, à transporter successivement, du bas d'une pile au sommet de l'autre, les brins ou faisceaux, à mettre ces divers brins dans

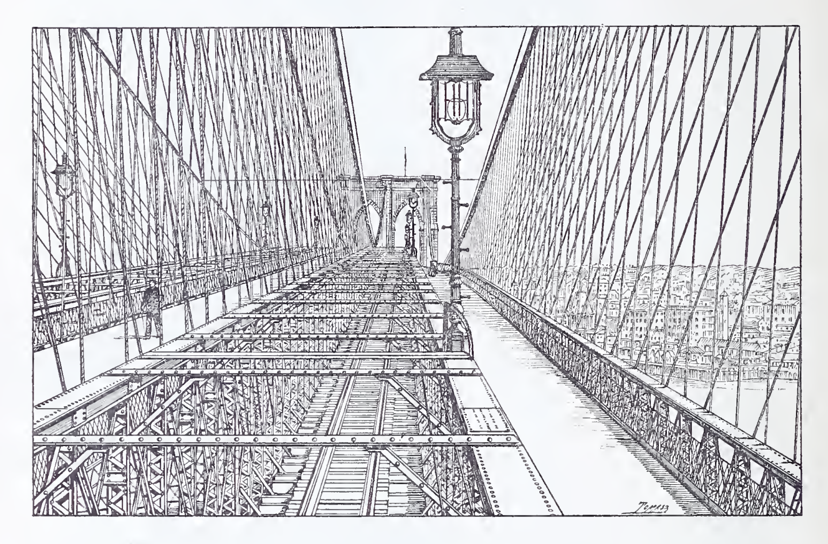


Fig. 182. — Pont de Brooklyn. — Vue transversale de la moitié du pont.

leur place définitive, et c'est seulement ensuite qu'on les a réunis après les avoir tendus bien également au moyen d'une machine; l'opération a bien réussi.

Le croquis (fig. 183) indique les phases de la mise en place des câbles, d'abord pour le pont de service des ouvriers, ensuite de la corde disposée en sens inverse pour résister aux tempêtes, et enfin des câbles définitifs de suspension et de la position finale du tablier.

Les fondations des piles, effectuées à l'air comprimé, ont aussi nécessité des travaux considérables.

Les travaux d'exécution du pont ont duré plus de treize années et l'inauguration a eu lieu le 24 mai 1883.

Les dépenses se sont élevées à près de 78 millions, dont 59 pour la construction proprement dite du pont et de ses abords.

Le poids de l'ensemble du pont est de 13,300 tonnes. La conception du projet et l'exécution des premiers travaux sont

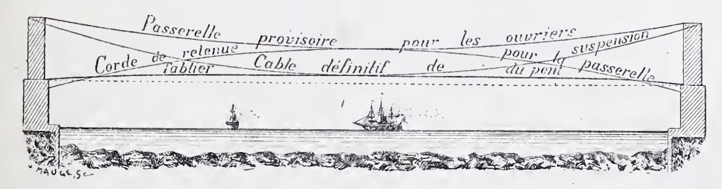


Fig. 183. — Pont de Brooklyn.
(Diverses phases de la mise en place des câbles.)

l'œuvre de J. A. Roëbling. Cet ingénieur étant mort à la suite d'un accident survenu sur le chantier fut remplacé par son fils, qui succomba lui-même à une affection due à un séjour trop prolongé dans les caissons d'air comprimé. Ils comptent tous les deux parmi les ingénieurs les plus renommés d'Amérique.

CHAPITRE V

Ponts mobiles.

Nous décrirons sous ce titre, en suivant la classification adoptée par Morandière dans son Traité de la construction des ponts, quelques exemples de la variété considérable des ponts qui permettent de donner passage à la navigation quand la hauteur du tablier au-dessus du niveau de l'eau n'est pas suffisante. Tels sont les ponts

levants, les ponts tournants, les ponts roulants. En général, les dimensions de ces ouvrages sont assez restreintes.

I. — PONTS LEVANTS

A. — *Ponts-levis.*

Les ponts-levis sont composés dans leurs parties essentielles d'un tablier, simple ou double suivant la largeur à franchir, mobile



Fig. 184. — Ancien pont-levis de Rouen.

autour d'un axe horizontal et équilibré par des contrepoids afin de faciliter la manœuvre.

Ponts de Rouen et de Marnaval. — Nous citerons comme exemples : 1° le pont-levis de l'ancien pont suspendu pour route, construit sur la Seine à Rouen et qui a été remplacé par un pont en arc. Au milieu du pont suspendu s'élevait un portique dans lequel

on avait aménagé un pont-levis à double tablier (fig. 184). Les chaînes de suspension étaient munies de contrepoids dissimulés dans les

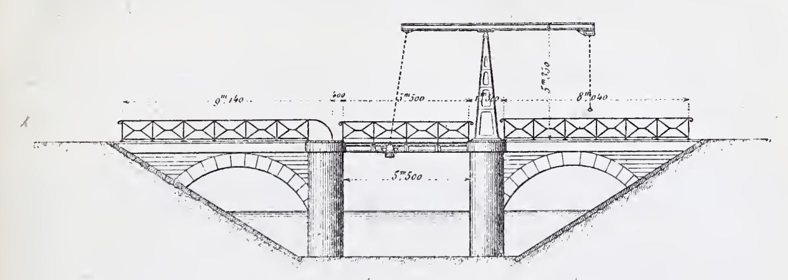


Fig. 185. — Pont de Marnaval. (Élévation.)

colonnes creuses du portique; 2° le pont-levis sur le canal de la Haute-Marne, à Marnaval (1866), sur lequel passe une voie de fer et qui livre un passage de 5m,50 de largeur (fig. 185).

B. — *Ponts-levants.*

Pont du marché aux bestiaux de la Villette (1868). — La voie spéciale de la gare du marché aux bestiaux de la Villette traverse le canal de l'Ourcq sur un pont-levant ((fig. 186). On ne disposait que d'une hauteur de 0m,73 entre le dessus des rails et le dessus du niveau des eaux. Le tablier mobile qui a une longueur de 9m,20 et une largeur de 7 mètres, se lève (fig. 187) au moyen de quatre chaînes passant sur des poulies supportées par deux arcs en maçonnerie, espacées de 8m,50, de manière à permettre le passage de deux voies de chemin de fer. Des piliers élevés aux deux extrémités des arcs supportent des poulies sur lesquelles passent les chaînes terminées par des contrepoids. Des manivelles, manœuvrées à la main, et des pignons dentés actionnent en même temps les quatre poulies; de cette façon, le déplacement est égal pour les quatre chaînes. Les contrepoids forment un poids plus lourd que celui du tablier; aussi pour faciliter la descente de ce

dernier, peut-on remplir d'eau des bâches qui y sont fixées. La levée du pont à 5 mètres de hauteur est faite en deux minutes par deux hommes. (M. Mantion, directeur du chemin de fer de ceinture.)

Pont sur le canal Saint-Martin. — Un pont-levant de 15 mètres d'ouverture a été construit en 1884, sur le canal Saint-Martin, à



Fig. 186. — Pont-levant du marché aux bestiaux de la Villette.
(Tablier baissé pour le passage des trains.)

Paris, pour donner passage à la rue de Crimée ; le tablier a $7^{m},63$ de largeur et 5 mètres de chaussée. Aux quatre angles on a établi des colonnes qui supportent les contrepoids. La manœuvre est hydraulique.

Le tablier pèse 85 tonnes ainsi que le lest. La dépense s'est élevée à 125,000 francs.

C. — *Ponts à bascule.*

Ce genre de ponts a été imaginé pour supprimer les portiques des ponts-levis qui dans certains cas sont très gênants.



Fig. 187. — Pont-levant du marché aux bestiaux de la Villette. (Tablier levé pour le passage des bateaux.)

Un pont de ce type a été construit en 1881, sur le Binnenhaven, à Rotterdam, pour le service des camions et des trains du chemin de fer. Il se compose de deux vantaux. Chacun d'eux est porté par un gros arbre transversal et est mu à l'aide d'un piston hydraulique agissant à l'extrémité d'un levier calé sur l'arbre. La hauteur du passage sous le milieu du pont, en eau basse, est de $3^{m},87$; la longueur des poutres entre culées est de 24 mètres et la largeur de la route de 8 mètres. L'ouverture de chaque vantail est de

80 degrés ; elle s'effectue en dix secondes si l'eau comprimée est introduite à l'aide d'un moteur à gaz et en quatre-vingts secondes si l'on se sert d'une pompe de compression mue à bras. Le poids de chaque vantail est d'environ 120,000 kilogrammes.

II. — PONTS TOURNANTS

A. — *Ponts tournants équilibrés.*

On a construit beaucoup de ponts de ce genre en fonte, surtout en Angleterre. En 1804, Walter y en établit un de $17^{m},76$ d'ouverture. On en trouve un autre à Anvers, construit en 1812.

Mais comme pour les ponts fixes, on a abandonné bientôt la fonte dans la construction des ponts tournants pour adopter les poutres en tôle de fer ou d'acier.

Diverses dispositions ont été adoptées suivant les cas :

Dans le cas d'une circulation peu active, tant sur la voie d'eau que sur la voie de terre, on adopte de préférence des ponts à une seule volée (fig. 188).

Quand la circulation à l'entrée et à la sortie est considérable, on emploie des ponts à deux volées mobiles sur une pile centrale qui sépare la voie d'eau en deux passes (fig. 194). Les deux volées peuvent être solidaires (fig. 194), mais dans ce cas, les deux passes sont condamnées si l'appareil de rotation vient à ne pas fonctionner. On obvie à cet inconvénient en établissant deux ponts distincts à simple volée en face l'un de l'autre, interrompus par la pile centrale.

Dans le cas d'une circulation très intensive, on établit deux ponts tournants à une certaine distance l'un de l'autre, de telle sorte que le mouvement des bateaux se fait en quelque sorte par éclusées et que la circulation sur la voie de terre n'est pas obstruée.

Pont tournant de la Joliette, à Marseille (1874). — Le vieux port de Marseille et l'avant-port sud sont mis en communication avec les bassins par une passe de $21^{m},30$ de largeur, dite passe de la

Joliette, sur laquelle est établi un pont métallique basculant et tournant (fig. 188).

Ce pont ne s'ouvre complètement que pour les navires d'une certaine hauteur. Pour les autres bateaux, il est mis seulement en bascule comme le représente la figure 188. Il est établi pour une voie charretière et une voie ferrée. Sa largeur est de 8 mètres. La travée totale a 41^{m},988 de longueur, dont 27^{m},954 pour la volée et 14^{m},394 pour la culasse. Il est mis en mouvement par une presse de soulèvement et deux presses de rotation. En service, le tablier

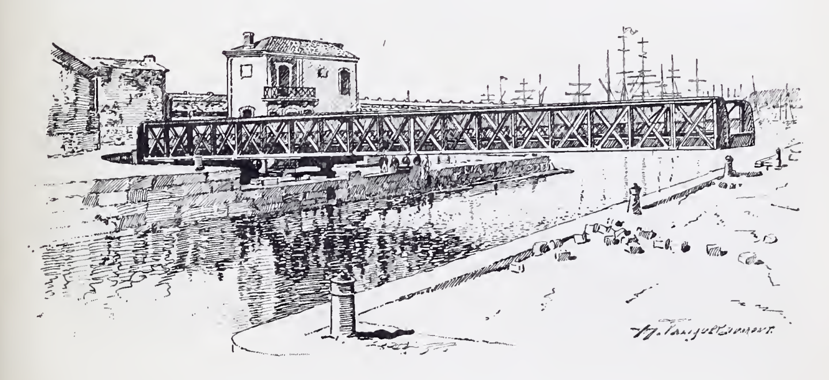


Fig. 188. — Pont tournant de la Joliette, à Marseille.

est horizontal et repose sur des sommiers fixes, placés en quatre points de sa longueur; dans cette position, il ne reste que 1^{m},75 de hauteur libre sous le pont. La mise en bascule s'opère par simple soulèvement; l'ouverture complète se fait par soulèvement et rotation.

Le poids total du pont est de 262,261 kilogrammes, dont 80 tonnes de lest. La dépense pour la travée proprement dite a été de 250,000 francs. (Société des ponts et travaux en fer.)

Pont tournant de Brest (1860). — C'est un des ouvrages les plus remarquables de ce genre et l'on trouve en lui le principe qui a été adopté dans la construction d'un certain nombre de ponts fixes et notamment du pont du Forth. Il rétablit les communications

entre deux quartiers de la ville de Brest, séparés par le cours de la Penfeld et laisse un passage libre de $19^m,50$ au-dessus du niveau des hautes mers.

Le pont comporte deux volées (fig. 189), qui reposent chacune sur une pile à base circulaire; la largeur libre du passage est de 106 mètres environ, quand les volées sont ouvertes. La largeur de la chaussée est de 5 mètres et celle des trottoirs de $1^m,10$.

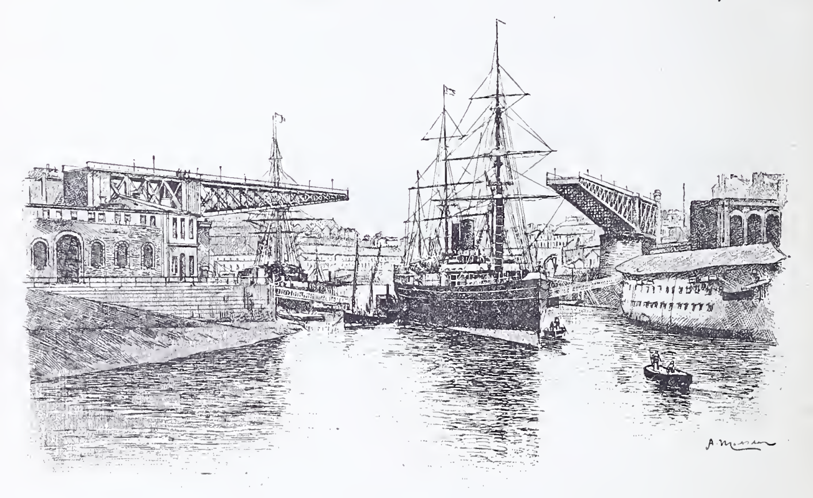


Fig. 189. — Pont tournant de Brest. (Vue du pont ouvert.)

Chaque volée est formée de deux fermes en croix de Saint-André, avec montants verticaux, fortement reliées l'une à l'autre par des entretoises et contreventées pour résister aux efforts de flexion transversale pendant la rotation.

La culasse a une longueur de $28^m,250$ et la volée de $58^m,325$. La hauteur des deux volées est de $7^m,72$ au droit des piles et de $1^m,40$ à leurs extrémités.

Pour assurer une grande stabilité au tablier pendant la circulation, on a jugé nécessaire d'établir des mécanismes de calage aux extrémités de chacune des moitiés du pont, à l'avant pour les volées et à l'arrière pour les culasses.

La charpente, au droit des piles, est assise sur une couronne de galets. Deux montants dans chaque poutre coïncident avec le milieu des couronnes et forment ainsi quatre points d'appui principaux, qui ont été renforcés d'une manière spéciale. Ces quatre montants sont reliés par quatre fortes croix de Saint-André ; en outre, ils sont traversés par une tour cylindrique en tôle fortement armée et munie de plates-formes en haut et en bas.

Chaque couronne de roulement, d'un diamètre de 9 mètres, se compose de trois parties principales (fig. 190) :

1° La plaque en fonte portant l'anneau de roulement inférieur et reposant directement sur la pile ;

2° Les galets par l'intermédiaire desquels s'opère le mouvement de rotation ;

3° Le plateau supérieur mobile portant la tour en tôle.

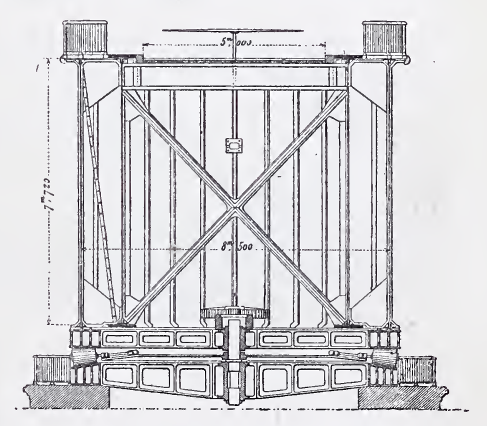


Fig. 190. — Pont tournant de Brest. (Coupe transversale sur les piles.)

Le moyeu central de la plaque inférieure porte l'arbre en fer qui forme l'axe de rotation du pont et avec lequel est aussi en contact le moyeu central du plateau supérieur.

Le mécanisme de rotation est très simple : la plaque inférieure dormante de la couronne de roulement porte extérieurement un anneau garni de dents d'engrenage. A cet anneau correspond un pignon dont l'arbre est fixé sur le contour extérieur du plateau mobile et reçoit son mouvement d'une roue d'engrenage ; celle-ci est elle-même commandée par un second pignon calé sur un arbre moteur. Ce dernier monte jusqu'au plancher ; là, il porte un croisillon armé de barres de cabestan ; c'est sur ces barres qu'agissent les hommes de manœuvre. Une fois la manœuvre accomplie, — deux

hommes peuvent l'opérer en quinze minutes au plus, — le croisillon s'abat sous le tablier en bois et celui-ci se trouve libre pour la circulation.

Le poids des métaux employés à la construction du pont se décompose ainsi :

Fers de toutes sortes.	860,000	kilogrammes.
Fonte ajustée.	340,000	—
Total.	1,200,000	kilogrammes.

Le pont a coûté 2,118,835 francs. (M. Oudry, auteur du projet. — Constructeur : Le Creusot.)

Pont tournant du Pollet, à Dieppe[1] (1889). — Il est établi pour deux voies charretières. La longueur de la volée est de

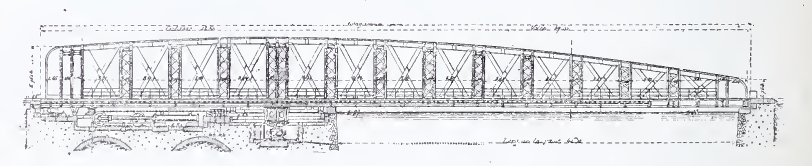


Fig. 191. — Pont tournant du Pollet, à Dieppe. (Coupe longitudinale.)

47 mètres, celle de la culasse est de $23^m,50$, moitié de la précédente. La largeur libre est de 7 mètres, y compris les trottoirs. Par suite de circonstances locales, l'épaisseur du tablier ne devait pas dépasser $0^m,70$; aussi est-il formé d'entretoises de $0^m,60$ seulement de hauteur, reliées par quatre cours de longerons en fer à I placés à une hauteur telle que les poutrelles en sapin qu'ils supportent affleurent exactement le niveau du dessus des entretoises. Les poutrelles sont couvertes par un plancher en madriers de sapin jointifs. Les deux poutres maîtresses sont en forme de caissons, à semelles inférieures horizontales et à semelles supérieures en arc de cercle; leur hauteur mesure $7^m,113$ au droit du pivot; elle se réduit à $2^m,75$ à l'extrémité de la volée et à $5^m,97$

1. *Annales des ponts et chaussées.*

à l'extrémité de la culasse (fig. 191). Cette disposition facilite la manœuvre puisque la partie la plus éloignée de l'axe de rotation est aussi la plus légère. Les semelles supérieure et inférieure de chaque poutre sont réunies par des montants verticaux en treillis et des croix de Saint-André. Les poutres sont reliées à leur partie supérieure par des poutrelles en treillis et contreventées par des fers en U, en diagonales (fig. 192). A leur partie inférieure les poutres sont également contreventées par des croix de Saint-André.

Le lest, formé de blocs de fonte, est disposé sous le plancher de la chaussée et des trottoirs entre les entretoises de la culasse ; les extrémités des montants des poutres ont été également remplies de fonte dans leur espace libre. Le lest a un poids de $234^{T},5$, qui dépasse de 20 tonnes environ celui correspondant à l'equilibre autour du pivot, afin d'assurer la stabilité pendant la rotation.

Fig. 192.
Pont tournant du Pollet, à Dieppe.
(Coupe transversale.)

Le chevêtre, par l'intermédiaire duquel le tablier repose sur le pivot, est une poutre en forme de double caisson. Il porte le sommier en fonte par l'intermédiaire duquel le pont repose sur le pivot (fig. 192).

Le tablier pèse 499,500 kilogrammes, soit par mètre courant 7,086 kilogrammes, non compris le poids du chevêtre qui est de $40^{T},300$, celui du lest et le poids de la partie du mécanisme fixée au tablier, soit 36 tonnes. Le pont est à *basculement* et la manœuvre est hydraulique.

Le piston plongeur du corps de presse formant pivot a $1^{m},27$ de diamètre; il porte un demi-cylindre horizontal concave de $0^{m},90$ de longueur et de $0^{m},65$ de diamètre, sorte de crapaudine dans laquelle peut tourner, lors du basculement, une rotule en forme de demi-cylindre convexe fixée au-dessous du chevêtre. En service le tablier ne repose pas sur le pivot ; un jeu de quelques

millimètres est laissé entre les deux surfaces cylindriques de la rotule et de sa crapaudine. Chaque poutre maîtresse porte : à l'extrémité de la volée sur une plaque de fonte fixée au bord du bajoyer d'une des rives, à $5^m,34$ du pivot sur une plaque de fonte fixée au bord du bajoyer de l'autre rive, et à l'extrémité de la culasse sur un appui mobile formé d'un coin pouvant glisser entre deux plaques de fonte, l'une boulonnée au-dessous du tablier, l'autre scellée dans la maçonnerie. La culasse porte deux roulettes placées à $20^m,50$ du pivot; ces roulettes sont normalement à $0^m,16$ au-dessus du chemin de roulement formé d'un rail circulaire. Dans l'encuvement sont également placés, au droit des poutres maîtresses, deux vérins hydrauliques, dits *presses de basculement.*

La rotation s'obtient au moyen de deux appareils hydrauliques funiculaires placés dans l'encuvement.

Le pont étant en service, il faut, pour opérer l'ouverture, manœuvrer de la manière suivante :

1° Donner de la pression dans la presse centrale (pivot). Le pivot se soulève du jeu existant entre sa partie supérieure formant crapaudine et la rotule et s'arrête quand les deux surfaces cylindriques sont en contact, la presse centrale étant insuffisante pour soulever le tablier;

2° Donner la pression dans les presses dites de basculement. Alors le tablier se soulève sous l'effort combiné de ces presses et de la presse centrale, et les appuis de culasse sont dégagés;

3° Décaler la culasse. On met en communication avec l'eau sous pression l'appareil qui commande le mouvement des coins des appuis de la culasse; les coins s'effacent et l'extrémité de la culasse devient libre;

4° Faire basculer le tablier. On supprime l'action des presses de basculement. La culasse s'abaisse en raison de l'excédent de poids de 20 tonnes et ses galets viennent reposer sur le chemin de roulement. Pendant le basculement la presse centrale reste en pression; mais comme elle est insuffisante à elle seule pour porter le tablier, le pivot descend en même temps que lui pour venir

porter sur le fond du pot de presse. Le tablier repose alors sur le pivot et sur les galets de la culasse ;

5° Faire tourner le pont au moyen de l'appareil hydraulique.

Les manœuvres à faire pour la fermeture s'expliquent d'elles-mêmes.

Les dépenses du tablier métallique se sont élevées à 224,145 francs et celles du mécanisme à 191,120 francs. (Ingé-

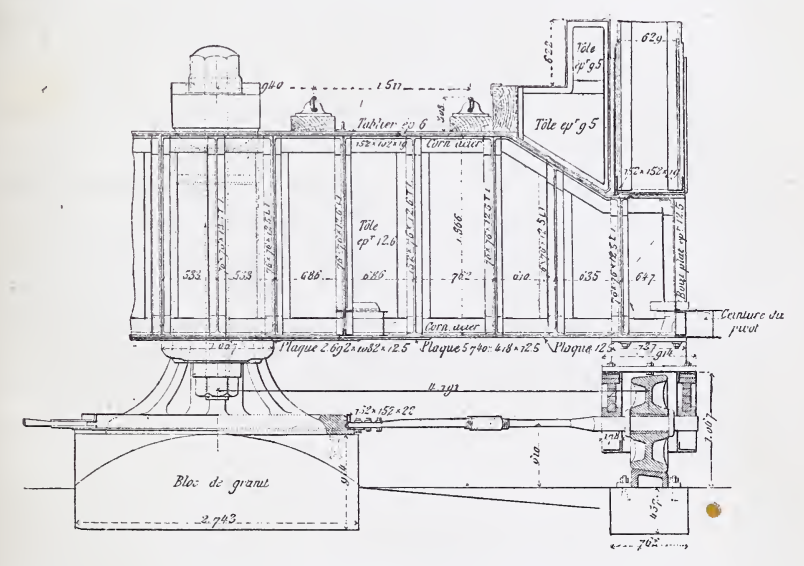


Fig. 193. — Pont de Hawarden, sur la Dee.
(Élévation latérale de la poutre porteuse et des galets de secours.)

nieur en chef : M. Alexandre. — Constructeurs : Compagnie de Fives-Lille et Société des Ponts et travaux en fer.)

Pont sur la rivière Dee, à Hawarden (1889). — Le pont d'Hawarden franchit l'estuaire de la rivière Dee, en Angleterre ; il se compose de deux travées fixes de 36^{m},50 d'ouvertur eet d'un pont tournant d'une longueur de 87^{m},25. La passe navigable est de 42^{m},56. L'ouvrage porte une double voie ferrée et un passage de 1^{m},20 de large pour les piétons.

Le pont tournant est formé de deux poutres, en acier doux, à semelle supérieure curviligne, présentant une hauteur de $2^m,88$ aux extrémités et de $9^m,72$ au pivot ; elles sont divisées en panneaux par des tirants verticaux et obliques et sont écartées de $8^m,20$. La partie tournante est supportée par deux traverses portant deux boulons d'acier. Ces boulons sont suspendus aux extrémités d'une pièce en acier fondu qui forme pivot.

En même temps que son mouvement de rotation, le pont possède un mouvement de bascule pour soulever l'extrémité du tablier hors de ses emboîtures. Deux presses hydrauliques servent d'appareils de soulèvement pour remettre le pont en place.

Ce qui différencie ce pont de celui du Pollet c'est que le pivot repose dans une crapaudine, les constructeurs n'ayant pas employé de support hydraulique, et que, bien que le pont soit à basculement, quatre galets de secours (fig. 193), en acier fondu, sont disposés par paires directement au-dessous des traverses de support de façon à ne pas empêcher le basculement; ces galets tournent dans des coussinets en fer forgé et roulent sur une voie en fonte.

Deux galets en acier fondu sont placés à l'extrémité de la queue du pont, fixés sous les poutres maîtresses; ils roulent sur une voie en acier fondu.

La rotation du pont se fait au moyen de deux presses hydrauliques servant, l'une pour l'ouverture, l'autre pour la fermeture. Des freins à eau produisent la mise en route graduelle et l'arrêt du pont.

De nombreuses dispositions (signaux, contrôles électriques) sont prises pour assurer la sécurité de la circulation des piétons et des trains qui passent, même en grande vitesse, sur l'ouvrage.

La manœuvre du pont est la suivante : relevage de la queue au moyen des presses de relèvement; tirage des cales et abaissement de la queue du pont; mise en route des presses de rotation. L'ouverture est entièrement libre deux minutes et demie après qu'un navire a demandé le passage.

Pont tournant du bassin d'Arenc, à Marseille (1888). — Le

pont tournant du bassin d'Arenc, à Marseille, passe pour le plus important de ce genre exécuté jusqu'ici en France. Il ne comporte qu'une seule volée et laisse une passe libre de 50 mètres de largeur. La travée, en treillis, a une longueur totale de 95^m,20 dont 59 mètres pour la volée et 36^m,20 pour la culasse, et présente une largeur de 8^m,80 pour le passage de deux voies ferrées et d'une voie charretière. (M. Barret, ingénieur. — Constructeur : Compagnie de Fives-Lille.)

Les ponts tournants sont très nombreux aux États-Unis et se composent généralement d'une travée à double volée dont les dimensions sont parfois très considérables.

Pont de la baie de Raritan (1875). — Ce pont, établi à New-Jersey, a une longueur de 144 mètres; il donne deux passes navigables de 65 mètres de largeur. La hauteur des fermes, du type Linville, est de 12^m,20 au milieu et de 9^m,10 aux extrémités. Les volées sont indépendantes, la semelle inférieure des poutres étant coupée au milieu, ce qui répartit avantageusement le poids permanent pendant la fermeture.

C'était la plus longue travée évoluant d'une seule pièce, jusqu'à ce que l'on ait construit la travée de New-London.

Pont sur la Thames River, à New-London (Connecticut) (1890). — Il est à double voie ferrée.

La travée pivotante se trouve entre deux travées de rive et deux travées intermédiaires (fig. 194). Les deux travées de rive ont chacune 45 mètres de longueur et les poutres sont du type triangulaire avec une hauteur uniforme de 7^m,20 et voies sur la membrure supérieure. Les deux travées intermédiaires ont 93 mètres de longueur chacune; les poutres sont analogues aux précédentes, comme construction, mais la hauteur des montants varie de 13^m,50 au centre à 7^m,50 aux extrémités; les voies sont sur la membrure inférieure.

Les poutres de la travée mobile ont 151 mètres de longueur avec une hauteur de 22^m,50 au centre et de 7^m,50 à chaque bout.

Elles sont exclusivement faites en acier au creuset, sauf pour quelques pièces travaillant à la compression qui sont en acier Bessemer.

Pour accélérer les opérations de la travée mobile, on l'a disposée de manière qu'elle décrive une circonférence entière et que, par suite, quand on l'ouvre pour donner passage à un navire,

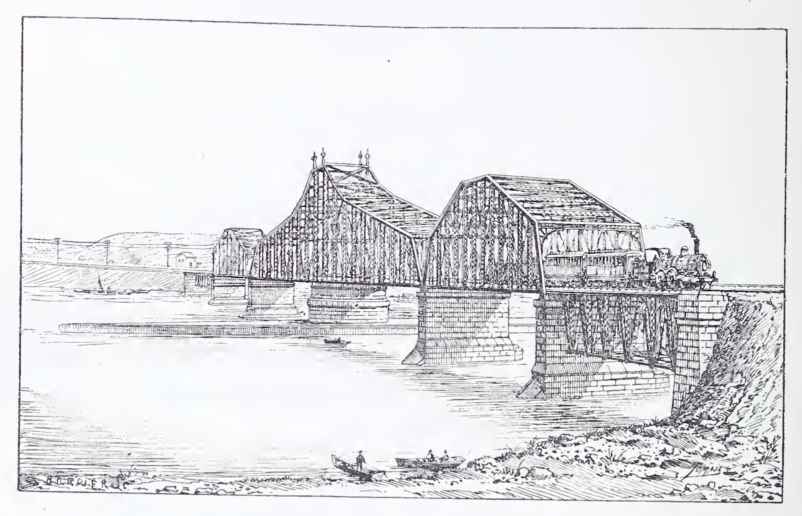


Fig. 194. — Pont tournant sur la Thames River.

on puisse la maintenir en mouvement pendant que le navire traverse et la refermer sans la faire revenir en arrière.

Les mécanismes qui actionnent la travée mobile se composent d'une machine à deux cylindres oscillants, commandant un train d'engrenages différentiels; l'embrayage s'effectue à l'aide de manchons de friction. La plaque tournante est en acier et porte sur des galets coniques en acier fondu, circulant sur des voies également en acier. Le tambour qui forme moyeu a $1^{m},50$ de hauteur et s'appuie sur la plaque tournante en huit points équidistants. Cet ouvrage, qui a une des plus grandes travées mobiles actuellement existantes, présente un aspect peu élégant.

Pont tournant sur la Willamette, à Portland (Orégon). — Ce pont, qui appartient à la compagnie Oregon-Railway, est composé d'une travée mobile, encadrée de deux travées fixes. Il est disposé

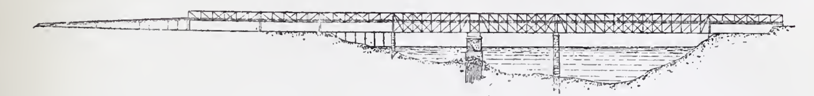


Fig. 195. — Pont tournant à Portland, Orégon. (Élévation.)

de manière à supporter une voie ferrée en dessous et une grande route par dessus au milieu de la hauteur des poutres (fig. 195).

Le tablier, en tôle ondulée, réduit au minimum l'espace compris entre la base du rail et le dessous du pont.

La travée mobile, faite en acier, a 103^{m},60 de long et 12^{m},19 de hauteur ; elle est manœuvrée par des machines à vapeur. Ses points d'appui sur le pivot central sont éloignés de 6 mètres. Les galets sont en acier fondu. La manœuvre de la travée qui pèse 800 tonnes peut se faire en moins d'une minute.

Pont sur le Liimfjord (Danemark) (1878). — Le chemin de fer de l'État danois franchit le Liimfjord entre Aalborg et Norre-Sundby au moyen de ce pont, qui est à voie unique et composé de sept travées de 353 mètres de longueur totale, dont une partie tournante à double volée de 54 mètres de longueur, deux groupes de deux travées solidaires de 63 mètres de portée et une travée de décharge de 35 mètres de longueur.

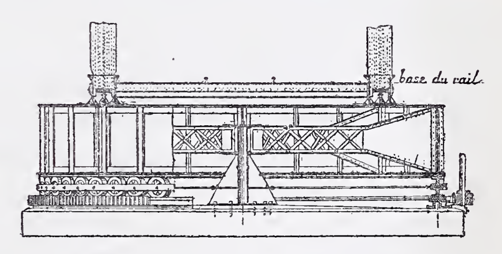


Fig. 196. — Pont tournant à Portland, Orégon. (Élévation et coupe du pivot.)

La partie tournante opère sa rotation sur un pivot central et sur des galets, la manœuvre se faisant au moyen d'un treuil à bras. Le poids en mouvement de cette partie est de 140,000 kilogrammes. Les deux passes

ont une ouverture libre de 21 mètres chacune. Devant la pile-tour, en aval et en amont, ont été construites deux piles sur lesquelles viennent reposer les extrémités de la volée quand le pont est ouvert pour le passage de navires. Ces piles sont surmontées d'un phare.

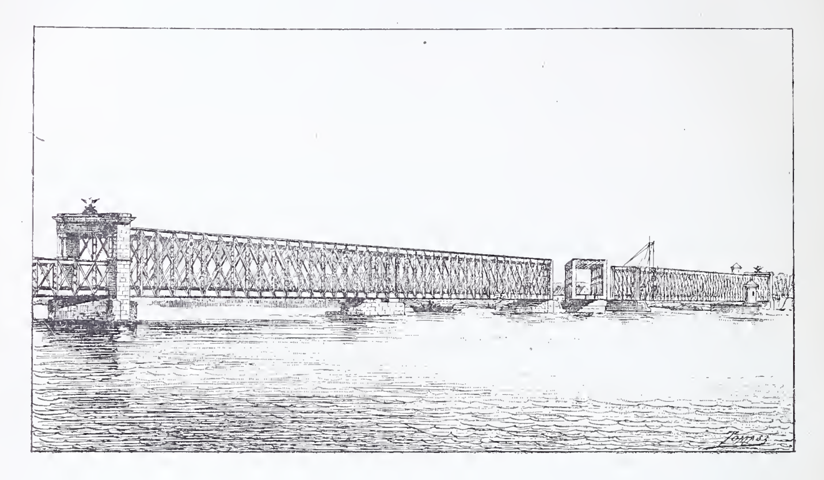


Fig. 197. — Pont sur le Liimfjord, Danemark.

La vue perspective (fig. 197) montre le pont avec les passes ouvertes.

Les fondations des piles ont été exécutées à l'air comprimé jusqu'à la profondeur considérable de 34 à 35 mètres au-dessous du niveau de la mer. C'est la plus grande profondeur qu'on ait atteinte par ce procédé. (Compagnie de Fives-Lille.)

Quand les ponts tournants ne sont pas manœuvrés à bras d'homme, on se sert souvent de la pression hydraulique ou de machines à vapeur pour leur manœuvre. Le pont tournant du port de Tarente, composé de deux travées, comme celles du pont tournant de Brest, est mis en mouvement par un moteur constitué, pour chaque volée, par une turbine. Une application intéressante de l'électricité a été réalisée ces dernières années à Bridgeport, dans

le Connecticut, pour la manœuvre d'un pont tournant qui a une portée totale de 54 mètres avec une largeur de 18 mètres et dont le poids est de 320 tonnes. Le pont tourne sur un pivot et sur une couronne de galets, portant son moteur placé entre les poutres métalliques.

Il est utile d'indiquer quelle est la position des ponts tournants soit pour les véhicules soit pour les bateaux. Dans ce but on place devant les extrémités du pont, à une distance plus ou moins grande, des signaux munis, pour la nuit, de lanternes produisant des feux de couleurs conventionnelles.

Dans certains cas, on place aux extrémités des parties fixes des barrières ordinaires de chemin de fer ou des portes de garde destinées à fermer le pont et à protéger les voitures ou les piétons. Elles sont généralement munies de sonneries ou cloches d'alarme qui préviennent de la mise en mouvement du pont. Ces portes ou barrières sont souvent manœuvrées par le même moyen que la travée mobile.

B. — *Ponts-grues.*

On est arrivé à supprimer la culasse et le contrepoids, qui causent une gêne considérable à cause de l'encuvement nécessaire à leur rotation et amènent une augmentation du poids et par suite du coût du pont, en adoptant pour les ponts tournants la forme de grues. On en rencontre quelques exemples en Hollande, nous allons en décrire un.

Pont-grue près Zwolle (Hollande). — Ce pont, construit pour la ligne de Zwolle-Meppel, comprend deux potences supportant chacune une file de rails (fig. 198) ; elles sont écartées de $1^{m},50$. La portée est de $6^{m},50$. Les poutres principales en tôle sont montées sur un arbre vertical dont les pivots, espacés de 3 mètres, sont fixés sur le mur du quai. Ces deux poutres sont reliées par des tringles articulées, et, lorsqu'on fait mouvoir la crémaillère attachée à l'une d'elles, l'autre est entraînée et tout le système formant

parallélogramme articulé vient s'effacer contre le mur du quai. L'extrémité opposée aux pivots est soutenue au moyen de cales

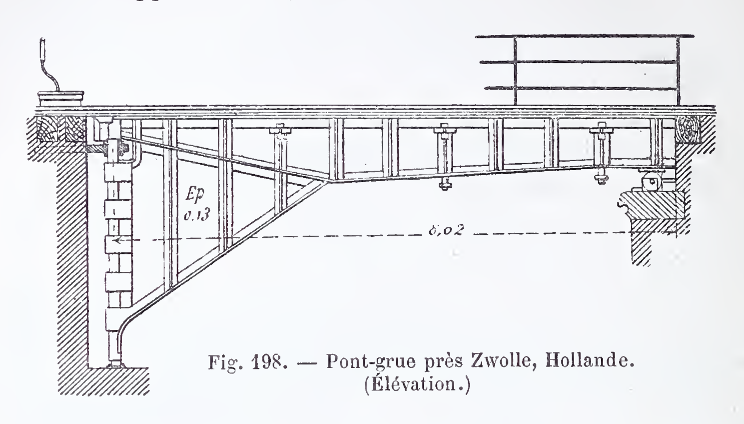


Fig. 198. — Pont-grue près Zwolle, Hollande. (Élévation.)

mises en place à l'aide d'un renvoi de mouvement. Cet ouvrage, qui a coûté près de 8,000 francs, pèse environ 4,300 kilogrammes.

III. — PONTS ROULANTS

Ces ponts, de même que les précédents, n'encombrent pas un grand espace de quais bien qu'ils aient encore une culasse et un contrepoids ; car ils nécessitent seulement dans le bajoyer une coupure qui ne gêne pas le halage.

Pont de l'écluse de Penhouet, à Saint-Nazaire[1] (1885). — Ce pont, qui franchit en une seule travée la grande écluse de 25 mètres du bassin de Penhouet, a 43 mètres de longueur, dont 28 mètres pour la volée et 15 mètres pour la culasse; il pèse en tout 300,000 kilogrammes dont 80,000 kilogrammes de contrepoids en fonte à l'extrémité de la culasse. Il présente 8 mètres de largeur en dehors des deux poutres de rive; celles-ci ont $3^{m},60$ de hauteur. Le pont porte deux voies de fer et permet la circulation des voitures en laissant

1. *Annales des ponts et chaussées*, août 1885.

deux trottoirs pour les piétons. Voici le dispositif de la manœuvre : on lève le pont verticalement, au moyen d'un piston hydraulique, d'une hauteur suffisante pour que la semelle inférieure des poutres puisse glisser sur des galets disposés sur la chaussée, en arrière. Le pont est alors porté en équilibre sur quatre galets fixés sur un chevêtre qui termine la tête du piston (fig. 199).

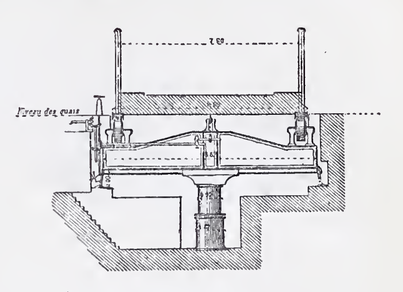


Fig. 199.
Chevêtre du pont roulant de Penhouet.

On dispose ensuite des cales sous le chevêtre et on laisse redescendre le pont de telle façon que le chevêtre vienne reposer sur ces cales; alors les galets du chevêtre s'alignent avec ceux de la chaussée. Il ne reste plus qu'à opérer la translation du pont en arrière sur ces galets; un treuil fait mouvoir un pignon placé au centre du chevêtre et sur lequel passe une chaîne Galle dont les deux extrémités sont fixées sous les



Fig. 200. — Pont roulant sur le Pei-Ho, à Tien-Tsin.

traverses du pont. L'appareil fonctionne d'une façon remarquable et la manœuvre s'exécute en quatre minutes. (M. Kerviler, ingénieur en chef.)

Pont roulant sur le Pei-Ho à Tien-Tsin (Chine) (1887). — Ce pont a été établi près du yamen de S. E. le vice-roi du Tchili. Le tablier pour voie charretière se compose de deux parties roulantes qui laissent entre elles un espace libre de $8^m,50$ (fig. 200). La translation en arrière des deux parties du tablier se fait sur des galets fixés sur deux piles métalliques et sur les culées. Le mouvement est donné par des treuils placés sur les piles et agissant au moyen d'un pignon denté sur une crémaillère fixée sous le poutrellage du tablier métallique et suivant son axe longitudinal. (Compagnie de Fives-Lille.)

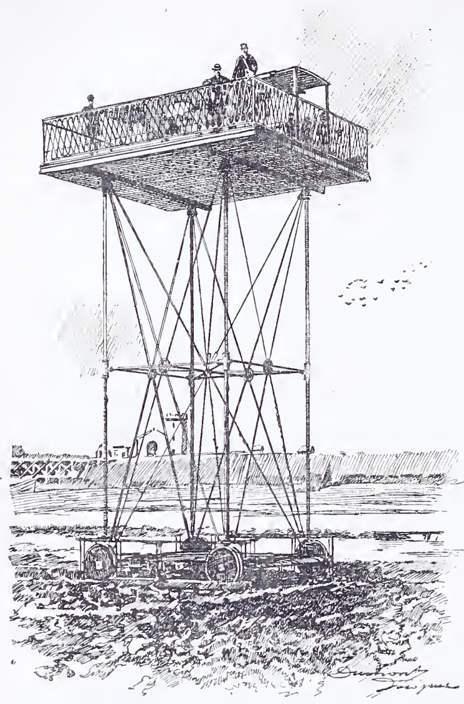


Fig. 201. — Plate-forme roulante de Saint-Malo. (Vue à marée basse.)

L'adoption d'un pont roulant a eu plutôt pour but de permettre de séparer la partie de la ville où se trouve la résidence du vice-roi du reste de la ville que de faciliter la navigation.

IV. — PLATE-FORME ROULANTE DE SAINT-MALO.

Une passe de 100 mètres de largeur sépare Saint-Malo de Saint-Servan. Une plate-forme mobile rectangulaire de 6 mètres sur 7 mètres sert à franchir cette passe (fig. 201). Elle est montée sur

des colonnes en fer de $10^m,55$ de hauteur et portée par quatre galets roulants sur des rails posés sur le fond de la passe. Une chaîne, formant va-et-vient, est posée sur des rouleaux, placés presque au niveau du sol, et est actionnée par une locomobile installée sur l'une des rives. La plate-forme peut recevoir des voitures légères. Elle a coûté 45,000 francs.

V. — PONT A TRANSBORDEUR.

Ce pont à transbordeur est un pont d'un système très intéressant, imaginé par MM. de Palacio et Arnodin, et applicable pour la traversée des voies maritimes qu'il est nécessaire de laisser

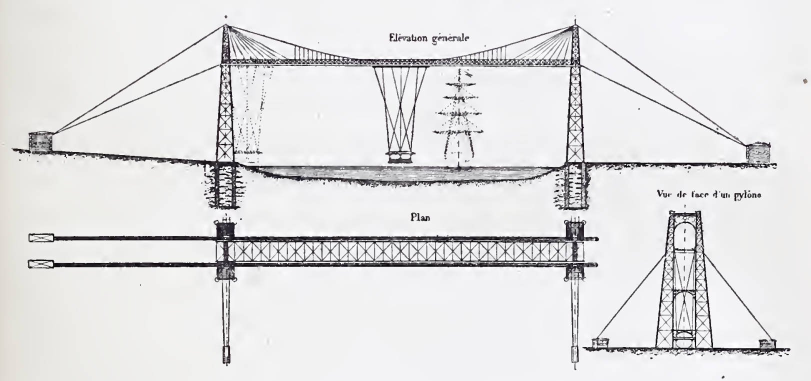


Fig. 202. — Élévation, plan et vue en bout du pont à transbordeur.

libre à hauteur de mâture et sur un large débouché; il est ainsi décrit dans le *Génie civil :*

« Il se compose d'une ossature de tablier de pont, placée à la hauteur des plus hauts mâts et reposant sur des piliers (fig. 202). Ce tablier porte sur chaque tête — amont et aval — des rails sur lesquels roulent des trains de galets, réunis à un cadre commun. A ce cadre sont attachés des câbles métalliques portant une plate-forme dite « chariot transbordeur », dont le plancher, placé

au-dessus de l'eau (plus haut que la vague) correspond à la hauteur des berges ou quais d'embarquement. Le cadre et les galets constituant la suspension sont susceptibles d'être mis en mouvement par un câble ou par un pignon engrenant dans une crémaillère fixée au pont, entraîné soit de la rive, soit du transbordeur, par un moteur quelconque le plus en rapport avec les circonstances locales : machine à vapeur, hydraulique, à air comprimé ou électrique.

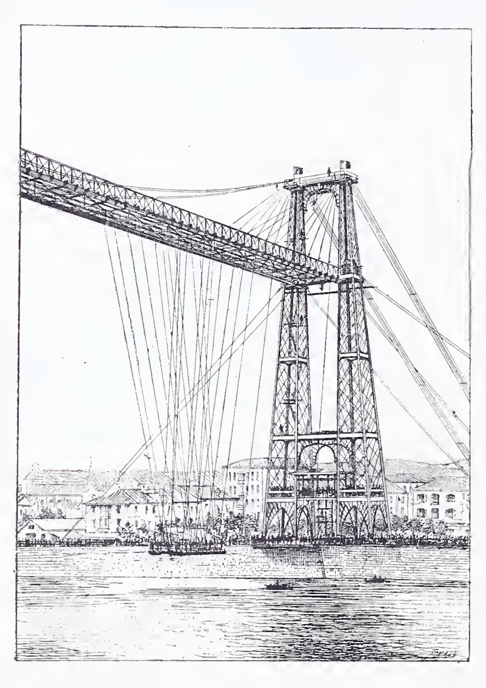


Fig. 203. — Pont de Portugalete.

« La marche s'opère dans les deux sens et le chariot peut transborder, selon les besoins, les personnes, les bestiaux, les marchandises, les véhicules de terre et même ceux des voies ferrées.

« Le transbordeur remplit l'office d'un bac et présente une solution nouvelle pour la traversée des rivières et des canaux maritimes. Pour les grands débouchés, il peut présenter des avantages sur les ponts-tournants, les ponts-levis et les ponts roulants. »

Pont de Portugalete, Espagne (1893). — Un pont de ce système vient d'être jeté à l'embouchure de la rivière de Bilbao pour établir la communication entre les deux rives (fig. 203). Les essais ont montré que l'appareil fonctionnait d'une façon satisfaisante. La traversée de 160 mètres de débouché que présente la rivière

de quai à quai se fait en une minute avec 150 personnes dans la nacelle. Le poids de cette nacelle et des appareils de roulement est de 40,000 kilogrammes en charge complète. Le mouvement est fourni par une petite machine à vapeur de la force de 25 chevaux ; cette machine actionne un treuil à friction à changement de marche, d'une disposition particulière, placé dans un des pylônes. Le treuil agit sur un câble funiculaire en acier qui fait rouler le transbordeur dans un sens ou dans l'autre.

Pour l'inauguration, une chapelle a été dressée sur la nacelle qui a été transportée au milieu de la rivière pendant la cérémonie de la messe.

CHAPITRE VI

Détériorations et destruction des ouvrages métalliques. Moyens d'y remédier.

La destruction des ponts, au point de vue de ses causes, peut être accidentelle ou voulue : accidentelle, quand elle résulte de circonstances indépendantes de la volonté de l'homme, telle que la rupture d'un pont provoquée par un déraillement de train ; voulue, quand elle résulte du fait de l'homme ; telle est la démolition des ponts en temps de guerre. Nous donnerons des exemples de destruction des ponts dans ces deux cas.

I. — DESTRUCTION ACCIDENTELLE.

Il est bien évident que la condition première que doit remplir un ouvrage métallique c'est que toutes ses parties aient les formes et les dimensions voulues pour travailler convenablement sous les

efforts qu'elles ont à supporter, et que la construction et l'assemblage de ces parties soient établis d'une manière parfaite.

Cependant, même quand ces conditions sont remplies, il existe des causes de détériorations, et elles sont multiples.

Aussi convient-il d'exercer une surveillance attentive sur les divers organes des ponts, de façon à porter un remède immédiat dès qu'une avarie se produit; car une avarie, même légère, peut s'aggraver sous le passage continuel des charges, peut gagner de proche en proche les autres parties du pont et compromettre la sécurité.

L'administration supérieure, en France, s'est préoccupée des mesures à prendre pour assurer la surveillance et l'entretien des ponts métalliques. Elle a édicté des prescriptions rigoureuses à cet égard dans la circulaire du 29 août 1891. Indépendamment de la surveillance et de l'entretien journaliers, des visites périodiques doivent être faites, portant principalement sur l'état de la rivure, et doivent donner lieu à la rédaction de procès-verbaux.

Les résultats de l'application des instructions administratives seront des plus intéressants, étant donné le nombre considérable d'ouvrages sur lesquels elle portera et l'uniformité des observations. Il est à penser qu'ils permettront de déduire quelques conclusions utiles, tant pour l'établissement des ouvrages que pour leur conservation. Mais nous sommes encore trop près du commencement de leur mise en pratique pour avoir pu déjà en tirer quelque profit.

On comprend combien la visite et la surveillance de certaines parties des ouvrages présentent de difficultés en raison de leur élévation au-dessus des eaux ou des vallées, et des moyens limités d'accès dont disposent les agents chargés de ce soin. Aussi a-t-on adopté diverses dispositions pour faciliter ces visites. C'est ainsi que nous avons vu qu'on a ménagé dans le viaduc de Garabit, à l'intérieur du tablier, une passerelle portant une voie sur laquelle circule un wagonnet.

Dans les cas où la hauteur de l'ouvrage n'est pas trop grande on se sert, pour la visite des parties inférieures, d'un échafaudage fixé sur le sol ou sur un bateau. Quand cette hauteur dépasse certaines limites, on a recours à diverses installations. Tantôt c'est un chariot placé à demeure sous le tablier du pont et qui peut se déplacer. Tantôt on se sert d'échafaudages volants. Tel est l'échafaudage volant funiculaire imaginé par M. Sciaifle, qui a servi pour l'exécution des peintures des combles de la galerie des machines à l'Exposition de 1889. La figure 54, qui s'applique au pont de Saumur, montre un semblable échafaudage installé pour la réfection de la peinture de cet ouvrage. Tel est encore l'échafaudage installé sur une des grandes travées du viaduc de Saint-André-de-Cubzac, et représenté par la figure 56.

Dans les ouvrages où la voie est placée à la partie inférieure des poutres, on peut employer, pour la visite de leur partie supérieure, de leurs entretoises et de leurs contreventements, un échafaudage porté par un chariot mobile sur les rails de la voie.

Cela posé, nous indiquerons très sommairement les principales causes de détérioration des ouvrages métalliques, ou plutôt nous signalerons les effets constatés, car, dans certains cas, leurs causes exactes sont difficiles à saisir.

Disons tout d'abord qu'une cause générale de fatigue pour les ouvrages métalliques pour voies ferrées, du moins pour les anciens, est l'augmentation continuelle des charges roulantes et de leurs vitesses, alors que ces derniers ouvrages ont été calculés pour des machines pesant un poids maximum, par essieu, inférieur à celui qu'elles atteignent aujourd'hui.

Ouvrages en fonte. — Dans ces ouvrages, quel que soit leur type, les agents atmosphériques ne produisent que peu d'effets, et, comme les pièces de fonte qui entrent dans leur composition ont de fortes épaisseurs, l'usure du métal par la rouille ne peut être une cause de danger que dans des cas exceptionnels.

Mais la fonte est un métal qui résiste relativement mal aux

efforts de traction et aux chocs. Aussi des ruptures sont-elles à craindre dans les ponts à poutres droites sous les chocs produits par le passage des charges roulantes. Dans les ponts de ce genre, de faible portée, on évite les chocs dus au passage des roues sur les joints de rails, en employant des rails d'une longueur supérieure à cette portée et en posant les joints au dehors des ponts. Ajoutons que la fonte est sujette à des ruptures dont la cause est souvent indépendante des charges plus ou moins fortes que supporte le métal; il nous a été donné de constater que des poutres se sont rompues sans qu'elles aient montré la moindre fatigue et alors que le calcul faisait ressortir, sous les plus lourdes charges, des coefficients inférieurs aux maxima admis. Toutes ces considérations conduisent à la suppression des ponts à poutres droites en fonte. C'est ainsi qu'en Angleterre l'usage de la fonte a été prohibé depuis août 1884 pour les ponts sous rails, excepté pour les ponts en arc.

Dans les ponts en arc, les détériorations que l'on observe le plus fréquemment sont encore des cassures. Elles sont plus fréquentes dans les ouvrages pour voies de fer que dans ceux pour voies de terre, parce que pour les premiers les charges sont plus considérables, les vitesses qui y sont développées plus grandes et les trépidations au passage des trains plus intenses et, par suite, plus nuisibles à la conservation de l'ouvrage.

Les cassures s'observent rarement dans les pièces principales des ponts, c'est-à-dire les arcs; elles affectent le plus souvent les parties secondaires, telles que les tympans, les boîtes de scellement des entretoises, etc. Cependant on a constaté dans les arcs eux-mêmes et dans les longerons de certains ponts des cassures qui deviennent bien plus inquiétantes. Quand on a démoli l'ancien pont en fonte d'Austerlitz, à Paris, on y a découvert plus de 6,000 cassures.

Il est difficile de préciser les causes de rupture des éléments des ponts en arc en fonte. Cependant, on peut citer comme une de ces causes les déformations des arches, produites par suite de

l'inégale répartition des surcharges roulantes. A ces effets, nous devons ajouter ceux qui résultent du passsage des trains en vitesse. Composés de pièces de fonte à assemblages rigides, les tabliers sont soumis à des effets dont le sens et l'intensité varient à chaque instant et dans des limites d'autant plus grandes que le rapport du poids mort à la surcharge mobile est plus faible. Ajoutons que cette surcharge mobile est allée sans cesse en augmentant.

Il n'est pas douteux, en effet, que la légèreté relative des ponts, en facilitant la production et la propagation des vibrations du métal, n'entre pour beaucoup dans les détériorations que ces derniers subissent, tandis que, dans des ponts plus lourds, les effets destructifs sont très atténués par la masse considérable sur laquelle agit la surcharge mobile. Il convient, en conséquence, de diminuer autant que possible le rapport de la surcharge mobile au poids permanent. C'est pour augmenter la masse de la partie fixe que, dans certains ponts, on a ajouté du ballast sur le tablier. Tel est le pont de Tarascon. De même, au pont de Villeneuve-Saint-Georges, les tympans étaient pleins, et les encoffrements ainsi formés étaient remplis de ballast qui avait nécessairement beaucoup plus d'épaisseur sur les reins qu'à la clef. Cette disposition avait pour but de diminuer l'effet des ébranlements causés par le passage des trains.

Il est encore une autre action à signaler dans le cas d'un ouvrage à deux voies ; c'est l'effort de torsion produit par le passage des trains en sens contraires sur les deux voies.

Nous mentionnerons enfin la dilatation produite par les variations de température, dont l'action est loin d'être négligeable, et d'où résultent des efforts en sens contraires pouvant engendrer des cassures.

Enfin, nous avons été à même de constater la rupture de deux colonnes en fonte supportant un pont pour voies de fer. Les deux colonnes étaient creuses, et les fissures qui régnaient, dans le sens de la hauteur du fût, avaient été provoquées par la congélation de l'eau qui avait rempli le vide existant à l'intérieur de ces colonnes.

Ouvrages en tôle. — Ici la rouille est un agent de destruction très redoutable qu'il faut surveiller avec la plus stricte attention. Les parties métalliques sont oxydées par les agents atmosphériques et subissent des dégradations notables qui peuvent compromettre la sécurité. On comprend très bien que les pièces qui, en général, ont une épaisseur relativement faible, perdent de leur résistance par suite de la diminution de l'épaisseur rongée par la rouille et ne peuvent plus supporter les efforts qu'elles avaient à vaincre avec leur épaisseur primitive.

Nous avons eu sous les yeux des exemples typiques de destruction par la rouille de ponts dans lesquels une oxydation profonde avait fini par produire de véritables perforations et un amaigrissement général dans leurs pièces constitutives.

La rouille est donc un grand ennemi du fer, et on l'a appelée le microbe rubigineux. Quand elle a attaqué un point, il s'y forme un foyer d'où le mal gagne rapidement les parties avoisinantes, si l'on n'y prend garde, et a des conséquences désastreuses pour la conservation de l'ouvrage. C'est ainsi que les trous de rivets relâchés deviennent facilement des centres d'oxydation.

Les ponts sous lesquels stationnent des locomotives présentent parfois des détériorations très sensibles, par suite de l'action chimique de la fumée, mêlée de vapeur d'eau à haute température. Nous avons constaté des usures de tôle considérables, des âmes de poutres réduites à quelques millimètres d'épaisseur et même percées ; nous avons observé des dentelures à certaines pièces, des semelles amincies et disjointes par le boursouflement des sels de fer formés entre elles, et des têtes de rivets considérablement réduites, le tout par suite de la corrosion du métal.

Le premier moyen d'obvier aux inconvénients de la rouille est de donner aux différentes pièces des ponts des épaisseurs convenables. C'est ainsi que certains ingénieurs n'admettent pas dans leurs constructions d'épaisseurs de tôle inférieures à 1 centimètre, quels que soient les efforts qu'elles aient à supporter ; par là, ils augmentent un peu le poids du métal nécessaire, mais c'est en

faveur de la sécurité, et nous pensons qu'ils sont dans le vrai. Quelles que soient les épaisseurs données aux tôles, il est indispensable, pour les préserver de la rouille, de les recouvrir de couches de minium de plomb et de peinture, et de refaire ces peintures après une certaine période d'années. C'est là un entretien d'un coût assez élevé.

Une autre cause de détérioration, assez restreinte, que nous avons remarquée sur des ouvrages depuis longtemps en service, est celle qui résulte du contact direct du bois avec le métal, c'est-à-dire des longrines sur les semelles des longerons ou sur les semelles des poutres. Il se produit, par suite de l'action des acides du bois, une corrosion du métal placé sous lui. On a essayé, et avec succès, de parer à cet inconvénient en intercalant des bandes de feutre goudronnées entre le fer et le bois.

Nous venons de dire que, concurremment avec la rouille, les vibrations et les chocs produits dans les ouvrages par le passage des charges roulantes étaient une des causes principales de détérioration de ces ouvrages. Les dilatations et contractions provenant des variations de température doivent également entrer en ligne de compte.

L'influence néfaste des chocs, vibrations, variations de température, s'exerce particulièrement sur les assemblages des pièces entre elles, assemblages obtenus en général, en Europe, au moyen de rivets, et cette influence s'exerce d'autant plus que les rivures ont été primitivement moins bien faites ou se sont détériorées par la rouille. Dans le premier cas, les rivets ne remplissent pas suffisamment les trous, par suite d'un refoulement imparfait de leur tige, ou bien ils ne serrent pas énergiquement les tôles à assembler, de sorte que les têtes des rivets ne présentent pas assez d'adhérence sur ces tôles. Dans les deux cas, un glissement des fers les uns sur les autres tend d'abord à se produire et, après un certain temps de service, les trous s'ovalisent. De là un jeu dans les rivets et des chocs des rivets contre les tôles. Les rivets travaillent bientôt au cisaillement, deviennent cristallins et cassants; peu à peu, le serrage des pièces en contact est détruit; elles se relâchent et

transmettent le mal de proche en proche. Une caractéristique de cette situation, c'est le bruit de ferraille que l'on entend au passage des charges roulantes. La destruction de l'ouvrage n'est plus qu'une question de temps si l'on n'y obvie.

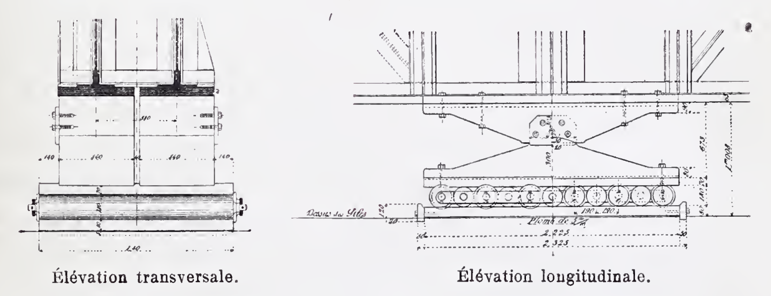
Les assemblages qui ont le plus à souffrir des chocs et vibrations produits par les charges roulantes sont ceux des longerons sous rails avec les pièces de pont. Les longerons sont soumis à l'influence directe des charges en mouvement; cette influence est moindre sur les pièces de pont et encore plus faible sur les poutres. Il importe donc de soigner d'une façon spéciale les attaches des longerons avec les pièces de pont.

Cette considération amène à donner la préférence, quand on le peut, aux ouvrages dans lesquels les poutres sont placées elles-mêmes sous les rails; ces poutres constituant des masses plus considérables, l'influence des charges en mouvement est moindre.

Sans en arriver à un moyen aussi radical, certains bons esprits pensent qu'on améliore sensiblement la situation en adoptant des longrines de plus fortes dimensions, afin de répartir ainsi les efforts sur plusieurs attaches consécutives, et en augmentant l'importance de la liaison des longerons avec leurs entretoises; pour rendre cette liaison plus parfaite, on donne aux longerons toute la hauteur des entretoises, ce qui permet en outre de placer à leurs parties supérieure et inférieure des plaques rivées ayant pour effet d'établir la continuité des longerons au passage de leurs entretoises.

Nous avons fait remarquer que les variations de température peuvent causer des dilatations et des contractions dans les différentes parties des ponts, les unes par rapport aux autres, et produire des effets fâcheux; il en est de même pour les voies en rails par rapport au tablier du pont et pour l'ensemble du pont par rapport aux piles et aux culées. Sans donner une explication aux faits constatés, nous dirons que ces variations de température dans les voies situées sur les grands ouvrages produisent certains effets tels que des ruptures de boulons d'éclisses et d'éclisses mêmes, des entraînements et des déripages de la voie.

Pour obvier à ces inconvénients, on a employé divers procédés : le plus primitif consiste à mettre en service des rails courts pendant les mois de grande chaleur et des rails plus longs pendant la période des froids. Quelques ingénieurs rendent les rails à peu près indépendants des tabliers dans le sens de leur longueur et facilitent leur mouvement de dilatation, par exemple, par l'adoption de coins cylindriques au lieu de coins coniques et par l'ovalisation des trous des éclisses. D'autres emploient certains appareils permettant aussi la libre dilatation de la voie ; un semblable appareil, dit *appareil compensateur*, a été employé au pont de Mezzana-



Élévation transversale. Élévation longitudinale.

Fig. 204. — Appareil de dilatation du pont du Manoir, sur la Seine.

Corti, sur le Pô (1866), et au viaduc du Val-Saint-Léger, sur la Grande Ceinture de Paris.

Pour faciliter les mouvements de l'ensemble des ponts, dus aux variations de température, par rapport aux piles et aux culées, on emploie des appareils dits *de dilatation* (fig. 204), que l'on fixe sur un certain nombre de piles et de culées et sous les poutres. Nous avons signalé dans le cours de cet ouvrage plusieurs de ces appareils.

Nous venons de résumer les principales causes de détérioration des ouvrages métalliques. Ces détériorations pourraient à la longue conduire à la mise hors de service de l'ouvrage ; toutefois, si on les répare à temps, la conservation de l'ouvrage n'est pas compromise.

Mais on a enregistré un certain nombre d'accidents, survenus à des ouvrages métalliques, qui tiennent à des circonstances particulières, souvent anormales, en dehors de toute prévision, indépendantes du type de la construction, de la qualité des matériaux et de l'entretien des ouvrages et qui amènent leur effondrement instantané.

On connaît, entre autres, l'action pernicieuse des chocs rythmés sur les travées métalliques. La catastrophe du pont suspendu d'Angers, sous le passage d'un bataillon d'infanterie, marchant sans rompre le pas, en est un exemple.

En dehors de ce cas, nous n'avons guère à signaler, en France, d'exemples d'écroulement proprement dit. Les quelques accidents qui se sont produits ont été provoqués par des déraillements de trains ou de machines qui ont atteint les tabliers métalliques dans leurs œuvres vives. Il n'en est pas de même aux États-Unis, où les écroulements sont en quantité tellement grande qu'un ingénieur a pu, avec leur description, faire un important ouvrage.

Quant à nous, nous allons nous borner à décrire deux accidents mémorables survenus en Europe à des ouvrages métalliques.

Pont sur le golfe de la Tay[1]. — Le pont gigantesque sur le golfe de la Tay (Écosse), livré à la circulation en 1878, n'avait qu'une seule voie ; il mesurait 3,155 mètres de longueur et était formé de 85 travées dont la portée maxima était de $74^m,70$. Les travaux de construction, et entre autres les fondations, avaient présenté de très grandes difficultés par suite de la vitesse du courant, de la largeur du lit et de sa profondeur.

A partir du niveau des hautes mers, on avait fait des piles métalliques : les unes étaient formées de six colonnes en fonte, montées sur des piles hexagonales en maçonnerie ; d'autres étaient des palées composées d'une seule rangée de colonnes, fichées dans la maçonnerie. Enfin, vers le rivage nord, les palées étaient formées de pieux à patins en fonte et munies de jambes de force.

1. Extrait du Traité de Morandière.

Les piles métalliques se composaient de six colonnes en fonte remplies de ciment et disposées par groupes de trois. Ces colonnes, à leur extrémité inférieure, reposaient sur des embases en fonte fixées seulement aux deux assises supérieures de pierre formant le socle de la pile. Au sommet, chacun des groupes de trois colonnes était relié par un sommier triangulaire en tôle sur lequel étaient fixés les supports des travées. Les colonnes portaient des oreilles venues de fonte, destinées à recevoir les pièces de contreventement qui existaient dans huit plans différents.

Dans le plan horizontal, les colonnes étaient reliées seulement par des tringles de fer rond. Les boulons d'attache entraient avec beaucoup de jeu dans leurs trous; les piles métalliques avaient très peu d'empattement, car l'écartement des colonnes, dans un sens comme dans l'autre, était seulement de $0^{m},60$ de plus à la base qu'au sommet, ce qui correspond à un fruit de moins de $0^{m},03$ par mètre.

Les piles des grandes travées s'élevaient à $26^{m},80$ au-dessus de l'eau; les piles les plus hautes se trouvaient du côté sud. Elles avaient 52 mètres, des rails à la pointe des pieux.

Pour toutes les travées destinées à la navigation, ainsi que pour deux travées en forme de bow-string, la voie était à la partie inférieure; pour les autres travées, elle se trouvait à la partie supérieure. Les poutres, imitées d'une disposition américaine, avaient des semelles parallèles réunies par de grandes croix de Saint-André, avec montants verticaux n'ayant que la moitié de la hauteur de la poutre et partant des points d'intersection des diagonales, pour se rendre sur celle des semelles qui supportait directement les pièces du pont.

Le 28 décembre 1879, une violente tempête de vent s'engouffrait dans la vallée au fond de laquelle coule la rivière de la Tay; on a évalué que la pression correspondant à la vitesse du vent dépassait 200 kilogrammes par mètre carré. Vers sept heures du soir, l'express venant d'Edimbourg, avec plus de quatre-vingts personnes, s'engagea sur le pont. Il allait arriver au-dessus de la

cinquième des plus hautes piles (n° 33 en partant du sud), lorsque les treize grandes travées furent précipitées dans la rivière.

On constata que le tablier était tombé, couché sur le côté, très peu à l'est des piles. Ces dernières étaient presque toutes complètement ruinées. Les socles en fonte étaient restés fixés aux maçonneries ; mais, précisément sur la pile n° 33 et aussi sur les n°s 36 et 38, les pierres de taille de l'angle ouest avaient été soulevées.

L'ensemble de la pile, constitué par les colonnes et leurs contreventements, a été soumis à un effort tranchant horizontal qui paraît avoir dépassé le travail résistant. Sous l'influence des rafales de vent, les piles ont dû éprouver des mouvements oscillatoires, répétés, susceptibles de porter, au delà de la limite de résistance, la tension des diverses barres de fer de contreventement, ou plutôt celle des oreilles venues de fonte avec les colonnes.

Disons aussi que les boulons reliant les barres de fer aux oreilles de fonte avaient un jeu considérable, par suite duquel des chocs devaient se produire à chaque mouvement oscillatoire. Ajoutons encore qu'une défectuosité existait dans la construction même de l'ouvrage : on avait, en effet, négligé de contreventer et d'entretoiser les piles qui avaient une forme hexagonale.

Le pont de la Tay a été reconstruit, et nous en avons donné la description page 146.

Pont de Mœnchenstein. — Nous empruntons les renseignements qui suivent au rapport présenté par MM. Collignon, inspecteur général, et Hausser, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, à la demande du Conseil fédéral suisse, sur la catastrophe du pont de Mœnchenstein (ligne de Delemont à Bâle, à une voie).

Tout le monde a encore présente à la mémoire cette catastrophe survenue le 14 juin 1891. Le pont tomba dans la Birse au moment du passage d'un train attelé de deux machines comportant une charge de 324 tonnes.

Le pont avait 42 mètres de portée et était formé de deux poutres principales. Ces poutres étaient constituées par deux mem-

brures en forme de T ; des barres de treillis allant d'une membrure à l'autre étaient disposées suivant des triangles à peu près équilatéraux de 7 mètres de base, dont des tirants en cornières représentaient la hauteur (fig. 205).

Les pièces de pont en forme de double T, espacées de 3^{m},50, recevaient les attaches des longerons supportant la voie.

L'invariabilité de la section transversale, à la partie supérieure, était réalisée par des entretoises distantes de 3^{m},50 en 3^{m},50. Enfin chaque panneau supérieur et chaque panneau inférieur de 3^{m},50 recevait comme contreventement des cornières en croix de Saint-André.

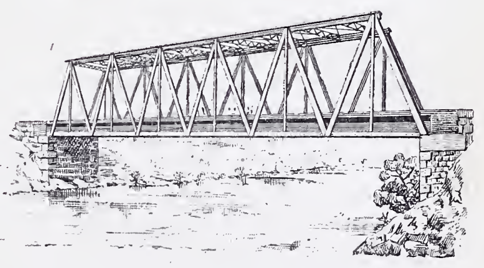


Fig. 205.
Vue du pont de Mœnchenstein en place.

En résumé, dans la réalisation pratique, on a suivi le programme consistant à faire un pont léger. Il pouvait soulever certaines critiques au point de vue de la faiblesse des treillis centraux, de certaines âmes et de certaines parties de membrures. Il devait avoir une certaine mobilité en raison de sa faible raideur transversale. Ce qui augmentait encore les conditions défectueuses, c'était le type biais du pont ; car pour diverses raisons, les ponts biais métalliques constituent une solution qui ne semble pas satisfaisante à accepter couramment. Mais la sécurité n'était compromise en rien, et le système de la construction ne peut expliquer la catastrophe.

Le pont de Mœnchenstein avait été mis en service en septembre 1875.

En 1881, à la suite d'inondations, l'aile amont de la culée rive gauche s'affaissa, laissant le pont avec un seul point d'appui sur cette culée. Il en résulta pour le pont certaines détériorations qui furent réparées sans retard. Mais on doit se demander si, vraiment, l'investigation faite a été de nature à permettre de

découvrir toutes les imperfections et tous les dégâts. Rien ne dit qu'après la chute plus ou moins brusque de la culée rive gauche l'extrémité libre du pont n'a pas exécuté une série d'oscillations, ce qui aurait amené des efforts dynamiques toujours dangereux et, comme conséquence, des fissures et déchirures non remarquées.

En 1890, la Compagnie du Jura-Berne-Lucerne, à l'occasion de l'emploi de machines plus lourdes, fit une revision de ses ponts métalliques. Cette revision montra, pour le pont de Mœnchenstein en particulier, que les poutres principales ne nécessitaient aucun renforcement, mais que les pièces de pont étaient trop grêles, si l'on ne voulait pas dépasser l'effort moléculaire de 7 kilogrammes par millimètre carré. Un travail de renforcement fut, en conséquence, exécuté en octobre 1890.

Le pont ne semblait donc pas devoir présenter à cette époque de vice pouvant éveiller la moindre inquiétude.

Survint l'effondrement du 14 juin 1891 (fig. 206), ainsi décrit par MM. Collignon et Hausser :

« Il faut conclure des faits qu'au moment où la première machine pénétra sur le pont, ce dernier se déversa à droite pendant qu'un abaissement suivant la verticale se produisait. Lorsque la première machine arriva près de la culée rive droite, la première roue de gauche dut essayer de monter sur la maçonnerie, alors que la première roue de droite, encore appuyée sur la partie métallique, perdait tout appui par suite du craquement qui a dû rompre d'abord l'extrémité de la poutre de droite. Il résulta de là que la locomotive déjà inclinée sur la droite eut une tendance à s'incliner de plus en plus, et reçut comme une impulsion tendant à la coucher, et cela au moment où les essieux de derrière et ceux du tender perdaient de leur côté tout appui sur un tablier qui descendait en s'inclinant au-dessous de l'horizon comme par un double pivotement autour de la poutre gauche et des appuis de rive gauche. Aussi n'est-il pas étonnant que l'on trouve la première locomotive basculée sur la rive droite et couchée sur le perré, la cheminée en bas et les roues en l'air. En exécutant ce

mouvement, elle brisa directement les barres des treillis extrêmes de la poutre de droite et, par voie de réaction, les extrémités de la poutre de gauche. A ce moment, le pont perdit tout appui sur la rive droite ; sous le poids du train, il s'avança légèrement dans le sens de la marche, butta par ses pièces extrêmes brisées contre la culée rive droite et se détacha de la culée gauche.

« Pendant que ces mouvements s'exécutaient, la construction



Fig. 206. — Vue du pont de Mœnchenstein effondré.

entière tomba dans le fond de la rivière tenant emprisonnés dans sa section tubulaire la deuxième machine et son tender, ainsi que le fourgon et les voitures qui y faisaient suite. Mais la queue du train, animée de sa vitesse, ne trouva plus que le vide en franchissant la culée rive gauche ; successivement les véhicules vinrent bondir de cette culée sur le contreventement supérieur du pont échoué, et se brisèrent en accumulant leurs décombres jusqu'à extinction de toute force vive. »

MM. Collignon et Hausser concluent ainsi :

« En résumé, ni le projet, ni son mode d'exécution, ni le

contrôle, ni la surveillance n'ont été en défaut au pont de Mœnchenstein; quelque opinion que l'on ait sur le caractère hasardeux de ces ponts élancés et légers à treillis simples, où la rupture d'une seule pièce peut entraîner un effondrement général, on ne saurait trouver dans le type de l'ouvrage et dans sa réalisation pratique l'explication de sa chute.

« C'est l'accident de 1881 qui, par les fatigues imprévues qu'il a imposées, a transformé le pont de Mœnchenstein en construction dangereuse. Le pont, dans sa poutre de droite, s'est déversé et tordu du côté de la culée de Bâle le 14 juin 1891, comme il l'avait fait en 1881. On ne saurait donc attribuer la chute qu'à une cause accidentelle et particulière, qui n'a pu être découverte, malgré une incontestable vigilance. En cherchant la cause en dehors des événements de 1881, on risque de s'égarer et on ne peut conclure qu'en faisant abstraction des faits. »

Ruptures de ponts pendant les épreuves. — Il y a peu d'exemples de ruptures de ponts métalliques pendant les épreuves, et on a parfois de ce fait conclu à l'inutilité de ces épreuves. Quelques accidents de ce genre se sont cependant produits, et entre autres deux tout récents.

Le premier est celui d'un pont-route à voie inférieure, en Écosse. Le tablier avait 40 mètres de longueur sur $5^{m},40$ de largeur et était en acier. Les poutres en treillis, à petites mailles, avaient une hauteur de $3^{m},90$ et une section en forme de double T. Elles étaient contreventées à leur partie supérieure. La rupture a eu lieu pendant qu'on disposait sur le pont la charge d'épreuve et alors que celle-ci était à peu près les quatre cinquièmes de ce qu'elle devait être. La membrure supérieure des poutres céda seule et se brisa. L'effort qu'elle supportait était d'environ $8^{kg},6$ par millimètre carré, ce qui n'était pas excessif. Mais la poutre n'était pas capable de résister au flambage par compression.

Le second accident s'est produit en Serbie, également pour un pont-route, à trois travées égales de 60 mètres d'ouverture et

indépendantes. Les travées se composaient de deux poutres semi-paraboliques, divisées chacune en douze panneaux par des montants verticaux. Les poutres étaient composées uniquement de barres tendues, sauf dans les quatre panneaux du milieu, qui comportaient des contre-diagonales. Leur hauteur était au centre de $8^m,80$ et aux extrémités de $3^m,50$ et leur écartement de $6^m,52$. Sous une charge d'épreuve de 131 tonnes de pierres, la surcharge totale devant atteindre 155 tonnes, le pont entier se brisa et tomba sur l'échafaudage de montage. Cet accident semble dû d'abord à l'exagération d'économie apportée dans le projet de l'ouvrage, ensuite à l'insuffisance de calcul des barres comprimées.

II. — DESTRUCTION VOULUE DES PONTS.

En temps de guerre, on est parfois amené, en raison de combinaisons stratégiques, à détruire des ponts. Les armées se trouvent quelquefois réduites à ces dures extrémités dans leur pays même ; aussi, au moment de la construction de certains ponts, faut-il déjà songer aux moyens de les détruire et, à côté des ingénieurs, tout heureux d'avoir édifié une œuvre avec toutes les garanties de durée possible, voit-on les officiers du génie étudier les dispositions à prendre pour l'anéantir dans l'espace de quelques secondes. Ainsi le veut la guerre.

La destruction des ponts s'opère au moyen d'explosifs. A cet effet, on prévoit dans les maçonneries des piles et des culées des *dispositifs de mines*. Ils consistent en des chambres, ménagées dans les maçonneries, à un niveau aussi bas que possible, afin d'obtenir un dérasement de la pile au-dessous de l'eau, quand elle est fondée en rivière, ce qui rendra la réparation plus difficile. On accède aux chambres par des *puits* dont l'ouverture se trouve à la partie supérieure de la pile et par des *rameaux* ou *galeries* qui les relient aux puits ; leurs dimensions usuelles sont de $0^m,90$ de large sur 1 mètre de long et 1 mètre

de haut. On les charge d'environ 200 kilogrammes de poudre.

Quand on veut préparer l'explosion, on place la poudre dans les fourneaux; on dispose des madriers dans les rainures de bourrage ménagées dans les chambres et, de distance en distance, dans la hauteur du puits. Puis, au moment voulu, on allume la mèche et la pile saute, entraînant le tablier. Quelquefois, le tablier n'est pas complètement rompu ; c'est ainsi qu'après la destruction des piles du pont du bras de Chatou, sur la Seine, en 1870, des piétons ont encore pu traverser la Seine sur le plancher de la voie qui était tombé sans se rompre (fig. 207).

Aussi, afin d'être certain que le tablier du pont ne pourra plus donner aucun passage, le génie militaire fait-il précéder la destruction des piles d'une première opération qui consiste à couper le tablier dans le sens transversal. A cet effet, des dispositifs de rupture sont installés sur le tablier même, dans le voisinage de ses appuis ; ils consistent en un certain nombre de caisses en tôle, fixées sur les différentes pièces du tablier et destinées à recevoir de la mélinite.

Supposons qu'on veuille démolir un pont à trois travées, on opérera ainsi : on établira un dispositif de mine dans une pile et deux dispositifs de rupture sur le tablier de la travée centrale, près des deux piles. On mettra le feu à ces dispositifs et la travée intermédiaire tombera. On fera ensuite partir la mine de la pile ; cette pile sautera entraînant la première travée.

A titre d'exemples, nous citerons les ponts qui ont été détruits par la mine pendant la guerre de 1870-1871, aux environs de Paris, sur les lignes de l'Ouest.

Ponts de Chatou. — Ces ponts, établis sur les deux bras de la Seine pour les deux voies de la ligne de Paris à Saint-Germain, étaient du même type. Ils étaient formés de trois arches en tôle avec piles en maçonnerie. La hauteur des voies au-dessus de l'étiage était d'environ 13 mètres.

Le premier avait $95^{m},80$ d'ouverture totale entre culées. Une pile avait été minée par nous ; mais ce sont les Allemands qui l'ont



Fig. 207. — Vue du pont de Chatou, sur la Seine, après sa destruction.

fait sauter. Les deux premières arches ont été démolies ; la troisième a résisté.

Le second pont avait $84^{m},70$ de longueur (fig. 207). La première pile, à droite, avait aussi été minée par nous, et ce sont encore les Allemands qui l'ont fait sauter ; elle a entraîné dans sa chute les deux arches qu'elle supportait. Dans le courant du siège, les Allemands ont démoli la culée de gauche et par suite la troisième arche.



Fig. 208. — Vue du pont de Bezons, sur la Seine, après sa destruction. Vue du pont provisoire en bois.

Toutefois, les piétons ont encore pu passer d'une rive à l'autre sur le plancher de la voie qui s'était affaissé sans se rompre.

Pont de Bezons. — La figure 208 représente l'état d'un des ponts de Bezons, sur la Seine, après la démolition d'une culée et d'une pile. Ce pont se composait de quatre arches en fonte de 30 mètres d'ouverture. La même figure montre le pont provisoire en bois à une voie, qui fut construit à côté du pont démoli pour rétablir les communications entre les deux rives.

Pont d'Argenteuil — La figure 62 montre l'état du pont d'Ar-

genteuil après sa destruction opérée, partie par le génie militaire français, partie par les Allemands. C'était un pont de 198 mètres de longueur, composé de cinq travées solidaires avec poutres droites en treillis reposant sur des culées en maçonnerie et sur quatre piliers intermédiaires formés chacun par deux cylindres métalliques remplis de béton et reliés entre eux transversalement par deux entretoises. La hauteur du rail au-dessus de l'étiage était de 15 mètres.

III. — RÉTABLISSEMENT RAPIDE DES COMMUNICATIONS.

Quand une armée se trouve en présence d'un pont détruit, il faut qu'elle rétablisse les communications, et il importe pour elle que ce soit au plus vite. On comprend que, s'il fallait procéder avec les ressources locales à la préparation des pièces d'un nouveau pont et à leur montage, ce serait une opération fort longue, souvent très difficile, sinon impraticable en temps de guerre où la rapidité d'exécution est la première condition à remplir. Aussi a-t-on reconnu la nécessité d'avoir des ponts tout prêts à l'avance, qui puissent être transportés à la suite des armées en campagne et mis en place en quelques heures. Il faut donc que ces ponts, tout en présentant le degré de solidité voulue, remplissent la triple condition d'être faciles à transporter, faciles à monter et de s'adapter à des portées variables. On a réalisé ces desiderata, d'une part, en adoptant pour leur composition des éléments d'un volume et d'un poids relativement faibles, et, d'autre part, en réduisant ces éléments à un nombre très restreint d'échantillons différents, de telle sorte qu'ils soient très aisément transportables et puissent être montés sans que l'on ait recours à des plans de montage et à un outillage spécial, par les ouvriers les moins expérimentés. Le pont, dans son ensemble, doit aussi être assez léger pour ne pas nécessiter des fondations importantes.

Un certain nombre de ponts ont été inventés dans cet ordre d'idées. Tels sont les ponts Eiffel, les ponts Cottrau, les ponts du

colonel Marcille et ceux du lieutenant-colonel Henry, les ponts Brochocki, les ponts Fives-Lille, etc.

Dans certains de ces ponts, les éléments du tablier métallique peuvent aussi servir à constituer des piles; quelques-uns peuvent être utilisés en campagne comme abri, tente ou ambulance.

Disons de suite que ces ponts, s'ils ont été étudiés en vue des besoins de la guerre, ne sont pas seulement destinés aux armées en campagne, mais que, d'une façon plus générale, ils constituent un matériel qu'on peut approvisionner pour répondre aux besoins qui peuvent survenir en toute circonstance et en tout temps. C'est ainsi que de nombreux spécimens des ponts Eiffel sont utilisés en France et à l'étranger.

Ponts portatifs démontables Eiffel. — M. Eiffel a résolu le premier le problème en 1873, avec ses ponts portatifs construits pour la Bolivie. En 1879, il en a construit pour des routes en Cochinchine. Il a été conduit ainsi à étudier un certain nombre de types, dont quelques-uns à plusieurs travées, reposant alors généralement sur palées en charpente ou sur pieux à vis.

Ces ponts sont complètement en acier. Ils se composent de deux poutres réunies par des pièces de pont. Deux files de longerons supportent la voie. La structure du pont est complétée par des contreventements et des entretoises. Les poutres sont formées d'une seule ou de deux parois.

La disposition fondamentale du système consiste à composer les parois d'un certain nombre d'éléments triangulaires, identiques les uns aux autres, adossés ou assemblés entre eux.

Les éléments courants des parois sont des triangles isocèles dont la base, les côtés et le montant sont composés par de simples cornières, qui sont assemblées au moyen de goussets rivés.

Toutes les cornières sont orientées dans le même sens, de telle sorte que les éléments peuvent être adossés les uns aux autres.

Des membrures rectilignes, constituées par une simple cornière rivée sur un fer plat, forment les membrures supérieures des parois.

Ajoutons que les éléments, fabriqués sur calibres, sont absolument identiques entre eux et, par suite, interchangeables.

L'assemblage des parties consécutives des poutres se fait au moyen de boulons.

Les types employés s'appliquent à des ponts-routes atteignant 4 mètres de largeur et 24 mètres de portée, et à des ponts pour voie de fer de 1 mètre et pour voie normale jusqu'à 45 mètres de portée.

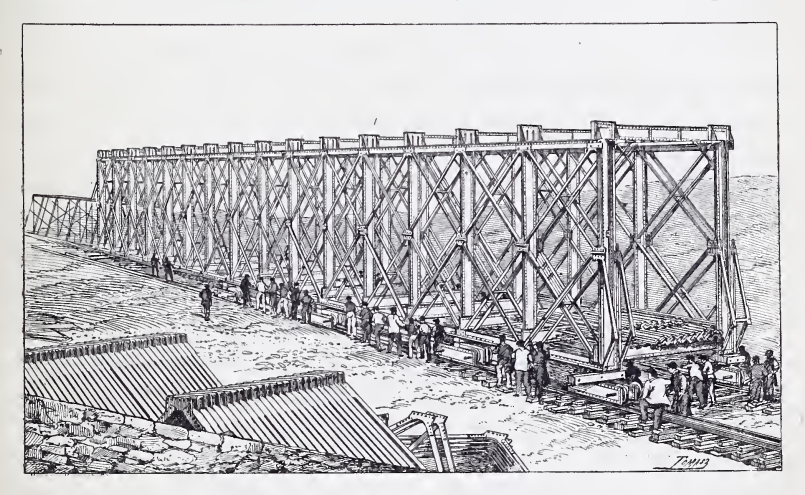


Fig. 209. — Vue d'un pont portatit démontable (système Eiffel).

Pour les poutres de ponts à voie ferrée normale, les éléments ont 6 mètres de longueur et 3 mètres de hauteur.

On peut constituer avec ces éléments des parois de deux types différents :

1° Paroi de $3^{m},08$ de hauteur permettant de construire des ponts d'une portée pouvant varier, de 3 mètres en 3 mètres, jusqu'à 30 mètres de portée maxima ;

2° Paroi de $5^{m},90$ de hauteur permettant de construire des ponts pouvant aller jusqu'à 45 mètres de portée maxima. Chaque poutre du pont à voie normale est composée de deux de ces parois écartées de $0^{m},50$ d'axe en axe.

On conçoit facilement la formation d'une paroi de poutre avec ces éléments et la formation de la poutre avec deux de ces parois de $3^m,08$ de hauteur réunies par leurs montants (fig. 209).

Un contreventement existe à la partie inférieure des deux types de pont et aussi à la partie supérieure pour le type de $5^m,90$ de hauteur.

Le premier emploi qui fut fait des ponts démontables pour le rétablissement des voies ferrées eut lieu en 1886, sur la ligne de Questembert à Ploërmel. Nous avons assisté aux essais que la Compagnie de l'Est fit à Châlons-sur-Marne sur un pont de 45 mètres et sur un pont de 30 mètres sous les charges, uniformément réparties, de 6,500 kilogrammes pour le tablier de 45 mètres et de 6,900 kilogrammes pour le tablier de 30 mètres, ainsi que sous les charges roulantes d'épreuve. Les tabliers ont parfaitement résisté.

La figure 209 représente le pont de 45 mètres muni de son avant-bec au moment où s'effectue l'opération du lançage au-dessus d'une cavité simulant une rivière à franchir.

Voici quels ont été, comme durée, les résultats des expériences : le montage du pont de 45 mètres et de son avant-bec a été fait par 54 hommes en trente-six heures ; le lançage, y compris tous préparatifs, a demandé six heures et demie; la descente du pont, démontage de l'avant-bec, déchargement du contrepoids, pose de la voie sur le pont ont duré huit heures. Enfin, il a fallu pour faire les raccordements avec les voies existantes deux heures. La durée de la mise en place complète a donc été de cinquante-deux heures et demie.

Le montage du pont, quelle que soit sa portée, se fait sur l'une des rives, et sa mise en place définitive s'effectue simplement par voie de lançage avec avant-bec constitué par des éléments identiques à ceux du pont, à l'avant, et contrepoids à l'arrière s'il n'a qu'une travée. Le tablier, muni de son avant-bec, est monté sur des chariots qui peuvent rouler sur des voies préalablement disposées suivant l'axe des poutres principales. On fait avancer les chariots, soit en poussant le pont à l'épaule avec un nombre d'hommes

suffisant, soit en opérant au moyen de pinces qu'on fait agir sur les galets des chariots, soit enfin en actionnant les galets par des rochets munis de leviers.

Les ponts du système Eiffel se prêtent également à l'emploi des appareils fixes à galets.

Comme exemple de l'application des ponts Eiffel pour routes au passage des rivières de grande largeur, nous citerons en Cochinchine :

1° *Le pont de Dong-Nhyen.* Ce pont (fig. 210), de 66 mètres de longueur en trois travées, repose à ses extrémités sur deux



Fig. 210. — Pont de Dong-Nhyen, Cochinchine.

pieux à vis en fonte noyés dans le remblai et sur deux palées établies en rivière et formées chacune de quatre pieux à vis en fonte entretoisés. Le platelage est en bois. Ce pont a été établi d'une façon très économique.

2° *Le pont de Rach-Lang*, de 54 mètres de longueur en trois travées, reposant sur deux piles et des culées en maçonnerie. La chaussée est empierrée.

Ponts Cottrau. — Vers 1878, M. Cottrau, en Italie, avait étudié deux types de ponts dont un connu sous le nom de *ponts politétragonaux* (fig. 211). Ce type est essentiellement composé de trois éléments rectangulaires en acier pesant respectivement 100, 47 et 10 kilogrammes dont l'assemblage se fait au moyen de boulons. Les dimensions de l'élément rectangulaire sont de $1^{m},875$

et $1^m,250$. Quand les portées et les charges augmentent, on retourne les éléments de manière que les petits côtés des rectangles soient placés horizontalement. On peut encore rendre le pont plus résistant en doublant les parois pour chaque poutre et sur toute sa longueur.

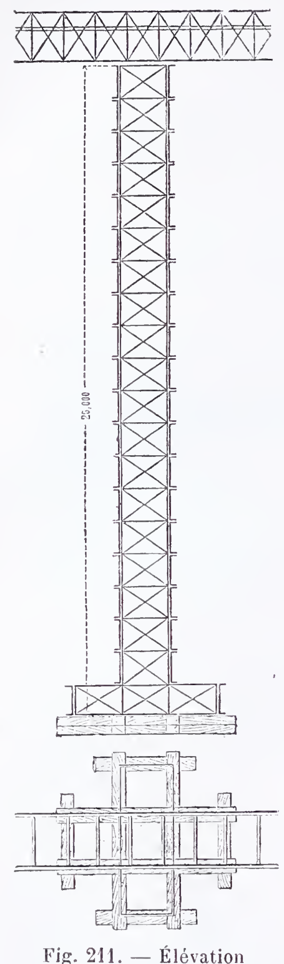


Fig. 211. — Élévation d'une pile et d'un pont du système Cottrau.

Pour les ponts à voies de fer, différentes combinaisons d'éléments fondamentaux ont été adoptés suivant les circonstances.

Le lançage de tous ces types de ponts ne présente pas de difficulté.

Les éléments des poutres peuvent aussi servir à établir des piles métalliques (fig. 211). M. Cottrau applique son système jusqu'à des ouvertures de 60 à 65 mètres. Pour un pont-route de 40 mètres d'ouverture le poids par mètre linéaire est de 962 kilogrammes ; il s'élève à 1,328 kilogrammes pour un pont à voie de fer.

Pont du colonel Marcille. — Le pont démontable du colonel Marcille est formé par la réunion d'un certain nombre de tronçons de pont de $7^m,50$ et de 10 mètres de longueur. Il existe deux types de pont : l'un de 30 mètres, l'autre de 45 mètres de portée. Chaque tronçon, en acier, se compose de deux poutres en tôle et cornières de $1^m,542$ de hauteur affectant la forme d'un double T. Les poutres sont renforcées par des montants verticaux en forme de T pour empêcher le flambage ; elles sont réunies entre elles par des entretoises. Les tronçons pèsent 1,500 kilogrammes par mètre

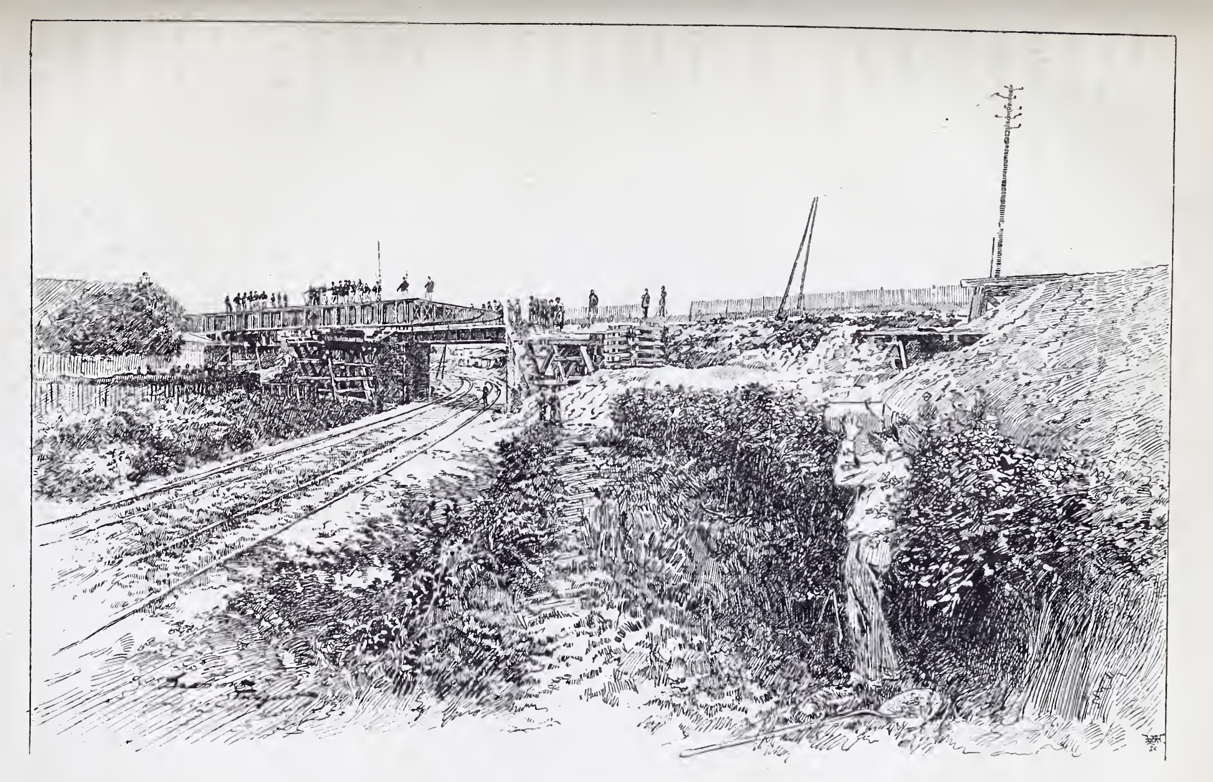


Fig. 212. — Pont du colonel Marcille. (Vue pendant le lançage.

courant pour le type de 30 mètres de portée et 2,200 kilogrammes pour le type de 45 mètres. Ils s'assemblent sur place au moyen de boulons et de couvre-joints également boulonnés en haut et en bas sur les semelles. La voie peut être placée à la partie supérieure (sur les poutres), ou à la partie inférieure (entre elles) après enlèvement de l'entretoise, ripage des poutres à $4^{m},200$ d'axe en axe et pose de poutrelles formant entretoises à la partie inférieure.

Un pont Marcille du type de 30 mètres a été utilisé en août 1889 pour la déviation provisoire de la ligne de Grande Ceinture au-dessus de la ligne à double voie de Paris (Ouest) à Paris (Nord) et de la ligne en construction d'Argenteuil à Mantes (fig. 212).

Le montage et le lançage du pont ont été faits par les soldats du génie, le premier en quatre jours, le second en six jours. Les tronçons étaient assemblés sur une voie établie dans la direction de l'emplacement définitif du pont et présentaient une longueur totale de 65 mètres. Le pont, ainsi constitué, était muni d'un avant-bec et d'un contrepoids formé d'un tronçon de poutre et reposait sur des galets spéciaux fixes. Pour le lançage, le mouvement était donné à l'aide de six leviers agissant sur les galets fixes par l'intermédiaire de rochets à déclic. Sur chacun des leviers cinq hommes, se déplaçant sur la semelle supérieure des poutres, tiraient au commandement. Les galets entraînaient le pont dans leur mouvement et, à chaque coup de levier, il avançait de $0^{m},35$ à $0^{m},40$. Le pont, une fois mis en place, les trois travées ont été séparées par des reculs successifs afin qu'elles ne restassent pas solidaires, puis elles ont été descendues, à l'aide de vérins, sur leurs appuis qui consistaient en deux culées et trois palées en bois.

Un second emploi du pont Marcille a été fait en 1891 par le Syndicat du chemin de fer de Petite Ceinture de Paris pendant la réparation du pont de Belleville, sur le canal de l'Ourcq. Ce pont Marcille à deux travées, d'une longueur totale d'environ 35 mètres, a permis au chemin de fer de ne pas interrompre ni ralentir la circulation des trains et, après une épreuve de plusieurs mois, malgré le mouvement de plus de 200 trains par jour, on a constaté que

les deux travées n'avaient pas faibli et n'avaient subi aucune avarie sérieuse.

Ces expériences montrent que les ponts Marcille sont appelés à rendre de réels services pour le rétablissement des communications interceptées sur les voies de fer.

Pont Brochocki. — Ce pont est formé de cinq types différents de pièces. Les pièces de chaque catégorie sont *interchangeables;*

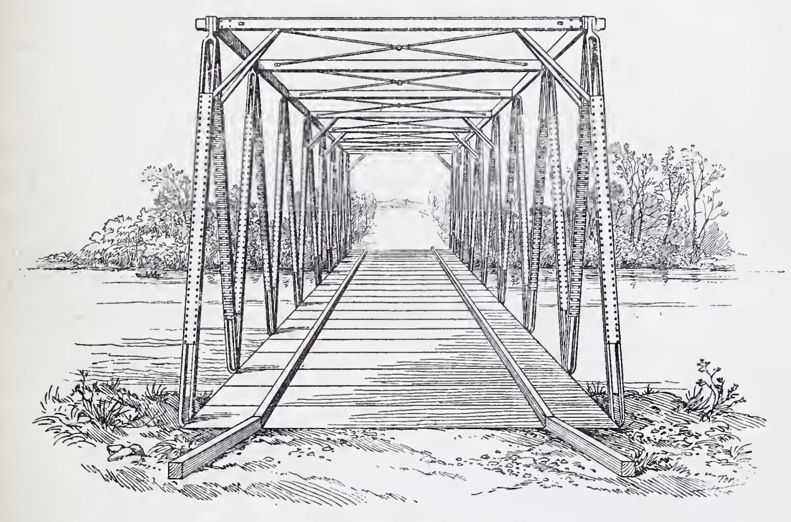


Fig. 213. — Pont Brochocki. (Vue intérieure.)

cela facilite leur assemblage qui se fait, non pas avec des boulons, mais par articulation au moyen de tourillons sur lesquels viennent se placer des douilles retenues par des clavettes.

Le pont se compose de deux poutres reliées transversalement à la partie inférieure par des pièces de pont qui portent les longerons sur lesquels repose le platelage, et à la partie supérieure par des entretoises.

La triangulation de la poutre varie suivant l'usage auquel est destiné le pont.

La triangulation est simple dans les ponts-routes légers et les

ponts dits militaires (fig. 213); elle est à triangles simples isocèles dans les ponts qui doivent offrir plus de résistance; enfin le treillis est croisé pour les ponts de chemin de fer.

Le pont est monté sur la berge et lancé ensuite à l'aide de

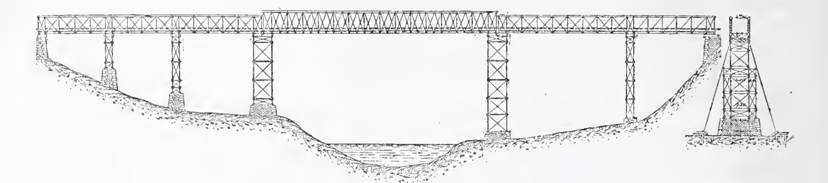


Fig. 214. — Viaduc mobilisable, système Henry. (Élévation et coupe.)

galets mobiles et d'un chemin de roulement; il est muni d'un avant-bec. Le lancement peut aussi se faire avec un bateau ou des palées construites dans la rivière.

Un pont-route offrant un passage libre de 4 mètres de hauteur et de $3^{m},60$ de largeur peut atteindre une portée de 36 mètres;

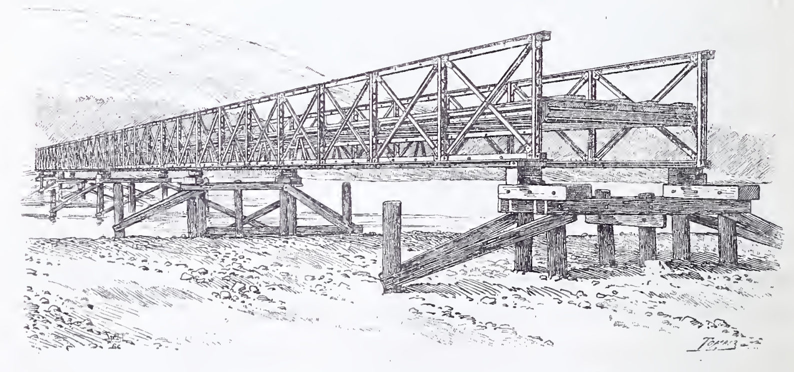


Fig. 215. — Pont du lieutenant-colonel Henry. (Traversée du Var.)

dans ce cas, il a un poids de 720 kilogrammes par mètre courant. Un pont pour voie normale de fer atteint jusqu'à 45 mètres de portée et son poids est alors de 1,672 kilogrammes par mètre courant.

Ce système de pont, considéré en raison de sa forme tubulaire,

peut être employé en campagne comme abri pour les troupes et servir de tente de campement ou bien d'ambulance.

Un pont du système Brochocki figurait à l'Exposition de 1889 sur le quai d'Orsay où il servait de passerelle pour les piétons.

Ponts du lieutenant-colonel Henry. — Les ponts mobilisables du lieutenant-colonel Henry se composent d'éléments portatifs triangulaires ou quadrangulaires, interchangeables, en acier, d'un petit nombre de types. Ils s'appliquent tant aux voies de fer qu'aux routes. La figure 214 représente en élévation et en coupe les dispositions adoptées pour un pont comprenant plusieurs travées de portées variables et des piles constituées aussi avec les éléments Henry.

Le génie militaire a expérimenté en 1889 un pont du système Henry, pour le passage des troupes. Il s'agissait de traverser le Var : dix-sept palées ont été installées dans le lit du Var (fig. 215); les dix-huit travées ainsi formées avaient 20 mètres d'ouverture chacune. Le pont a été monté en cinquante-deux heures par des soldats du génie et de l'infanterie. L'expérience a très bien réussi.

Pont de la compagnie de Fives-Lille pour route. — La compagnie de Fives-Lille, qui construit les ponts Henry, a aussi étudié différents types de ponts mobilisables parmi lesquels un type pour route dont voici la description. Les travées du système de la compagnie de Fives-Lille ne comportent qu'un petit nombre d'éléments types tous rectilignes et rigides; ils sont identiques et interchangeables pour un même type et s'assemblent entre eux exclusivement par des boulons. Les éléments types sont au nombre de huit et leur poids, en dehors de celui des pou-

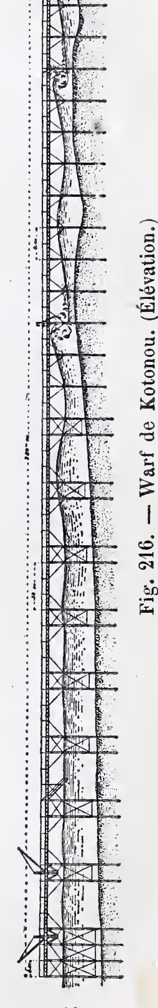


Fig. 216. — Warf de Kotonou. (Élévation.)

trelles qui est de 136 kilogrammes, varie de 20 à 107 kilogrammes. Leur longueur est en général inférieure à celle des prolonges en usage dans le service du génie ; deux éléments seulement ont des longueurs un peu plus grandes.

Les poutres constituées avec ces éléments sont formées de panneaux en croix de Saint-André avec montants verticaux. Elles portent à leur partie inférieure des pièces de pont reliées par trois cours de longerons et, par-dessus, le platelage.

Le montage et l'assemblage des éléments se font directement à bras d'hommes et n'exigent, par conséquent, aucun appareil d'enlèvement ; les seuls outils nécessaires sont des clefs pour le serrage des écrous, des broches, quelques marteaux et quelques pinces de montage.

Le lançage d'une travée ou de plusieurs travées consécutives n'exige qu'un élément supplémentaire : le petit panneau mobile d'accouplement. La culasse et l'avant-bec sont constitués par des éléments mêmes de travée. L'outillage pour le lançage comprend deux châssis à balancier à double galet et quatre galets simples. Le mouvement s'obtient en poussant simplement à bras d'hommes. Les bois du platelage suffisent à faire contre-poids.

La position de la voie de roulement sur le pont se trouve fixée au moyen de deux garde-roues en cornières qui maintiennent les roues des voitures à peu près à l'aplomb des deux longerons principaux. Le troisième longeron en fer, placé au milieu de la voie, assure au plancher la rigidité voulue pour le passage des bêtes de trait et permet d'en réduire l'épaisseur à $0^{m},04$, ce qui est important au point de vue du poids à transporter.

Le métal employé est l'acier doux.

Warf de Kotonou. — Signalons à titre d'actualité le warf ou appontement jeté sur la barre à Kotonou et qui a servi pour le débarquement de notre corps expéditionnaire dans la campagne du Dahomey. L'ouvrage a une longueur de 280 mètres. Le tablier qui porte des voies ferrées repose sur des pieux à vis (fig. 216).

DEUXIÈME PARTIE

LES CHARPENTES MÉTALLIQUES

CHAPITRE PREMIER

Considérations générales.

En dehors des ponts, qui constituent de beaucoup la partie la plus importante et la plus considérable des constructions métalliques, on rencontre une variété infinie de constructions dans lesquelles entre encore le métal.

Parmi ces dernières celles qui sont le plus répandues sont sans contredit les charpentes. Les chapitres qui suivent traiteront spécialement de ces charpentes; nous ne nous arrêterons toutefois qu'aux plus intéressantes, qui sont d'ailleurs relativement peu nombreuses.

Nous laisserons de côté les autres constructions qui, bien qu'essentiellement métalliques, rentrent plus particulièrement dans le cadre des ouvrages qui traitent des autres branches de l'Industrie telles que les *Chemins de fer,* la *Navigation,* l'*Hydraulique,* etc.

L'introduction du fer et de la fonte dans la construction des grands édifices ne date guère que du milieu de notre siècle. Mais les premiers essais furent des plus heureux (Palais de l'Industrie, Église Saint-Eugène, Salle de lecture de la Bibliothèque nationale,

Églises de la Trinité et de Saint-Augustin, Halle des voyageurs de la gare d'Orléans, etc.[1]), et bientôt l'architecture métallique s'établit définitivement et fut admise comme une manifestation de l'art monumental non moins rationnelle et non moins artistique que l'architecture en pierre, qui, jusqu'à cette époque, avait eu le monopole exclusif des grands monuments civils et religieux.

Cette application du métal aux constructions procure de nombreux avantages. Le plus grand espacement et la réduction considérable d'épaisseur des supports que l'on peut obtenir par l'emploi de cette matière la rendent éminemment propre à l'établissement de grandes et hautes nefs, à quelque affectation qu'elles soient destinées, où un grand concours de monde peut à la fois trouver place, voir et entendre sans être gêné par d'énormes piliers en pierre ou par d'étroites travées en maçonnerie.

Les modifications résultant de l'emploi du métal n'ont pas été non plus sans apporter une notable économie dans les dépenses de construction.

Mais le nouveau mode de construction, s'il améliore les conditions d'établissement des édifices, permet encore, comme avec avec la pierre, de conserver à ces édifices un aspect artistique, sans leur rien enlever de leur caractère monumental. Des éléments de décoration peuvent être formés par les parties métalliques rendues apparentes et par la coloration polychrôme donnée au métal.

Les architectes ont aussi tiré le plus heureux parti, non sans donner lieu cependant à quelques critiques bien fondées, de la combinaison du fer avec la maçonnerie, avec les faïences, les poteries et avec tous les autres métaux possibles; c'est là le trait vraiment caractéristique du mode d'architecture contemporain.

Cela dit, nous allons passer en revue les divers genres de charpentes métalliques. Nous aurons à citer comme exemples les

1. Les renseignements concernant les monuments anciens ont été puisés dans les *Nouvelles annales de la construction.*

palais des expositions, les édifices religieux, les halles des gares, les rotondes des machines de chemins de fer, les théâtres, les magasins, les marchés, les usines, etc.

CHAPITRE II

Palais des Expositions.

Les palais destinés aux Expositions universelles sont la plus grandiose manifestation de l'architecture métallique. Par leur étendue comme aussi par leur destination ils se distinguent des autres constructions.

Nous pourrions citer de nombreux palais d'Exposition : Hyde-Park, Sydenham, New-York, Dublin, Munich, etc.

Nous nous bornerons à donner des palais de ce genre construits en France un aperçu qui montrera le chemin parcouru de 1855 à 1889. Nous décrirons aussi les constructions les plus importantes de l'Exposition qui se tient actuellement à Chicago.

I. — EXPOSITION DE 1855.

Palais de l'Industrie, à Paris (1855). — Tout le monde connaît cette remarquable construction qui a été édifiée pour l'Exposition de 1855 et qui sert aujourd'hui à abriter les expositions les plus diverses. La figure 217 représente une coupe transversale d'ensemble de toute la charpente du palais. La nef principale a 48 mètres de largeur sur 192 mètres de longueur. La hauteur du faîtage des grandes fermes au-dessus du plancher est de $36^{m},25$. L'ossature de la charpente est composée de vingt-quatre fermes courantes, espacées de 8 mètres d'axe en axe, plus deux fermes de

tête, enchâssant les verrières de fermeture. Ces différentes fermes sont reliées entre elles par des entretoises américaines de $0^m,50$ de hauteur, et des équerres en fers spéciaux. Il y a, en outre, des tringles de contreventement extérieures, croisées en diagonales d'une ferme à l'autre. Tout autour de la nef principale courent les nefs secondaires ayant 24 mètres de largeur, et qui sont séparées d'elle par une galerie continue, en arcades de fonte, ayant 3 mètres de largeur d'axe en axe. Entre les nefs secondaires et les murs il y a encore un espace de 2 mètres pour recevoir les

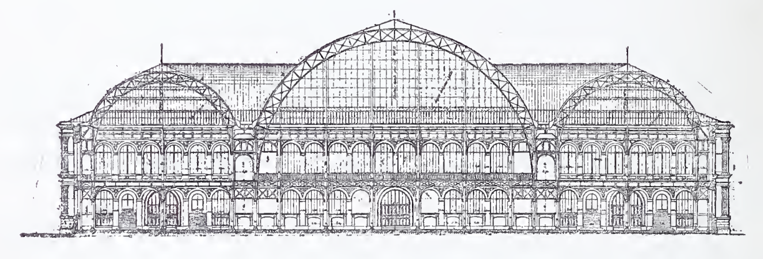


Fig. 217. — Palais de l'Industrie, à Paris. (Coupe transversale.)

retombées des charpentes, dont le système est ainsi complètement indépendant de celui des maçonneries.

Les fermes principales, ainsi que les fermes secondaires, sont composées de deux arcs en fer à cornière, distants de 2 mètres et reliés entre eux par des croix de Saint-André, en fers à T, opposés plat contre plat. Les fermes principales ont vingt-deux panneaux et pèsent 9,000 kilogrammes environ chacune. Les fermes secondaires ont douze panneaux et pèsent 4,500 kilogrammes environ. Les colonnes du rez-de-chaussée ont $0^m,35$ de diamètre et celles du premier étage $0^m,30$ avec une épaisseur de fonte de $0^m,02$. Les planchers des galeries, soutenus par des poutres en tôle, sont compris entre les chapiteaux des colonnes du rez-de-chaussée et les bases des colonnes du premier étage.

Les charpentes principales arrivaient des ateliers en trois pièces. On les assemblait sur place, et on les montait, tout entières, au moyen d'un grand échafaudage roulant sur rails.

Le prix total du Palais s'est élevé à environ 13 millions, dans lesquels la partie métallique entre pour 4,250,000 francs. (MM. Barrault et Bridel, ingénieurs.)

II. — EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867, A PARIS.

Le palais de cette Exposition était placé au centre du Champ de Mars, dont il occupait une surface de 155,154 mètres carrés, et présentait, à l'extérieur, l'aspect d'un cirque monumental. Il se

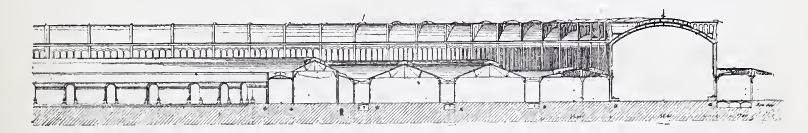


Fig. 218. — Palais de l'Exposition de 1867. (Demi-coupe longitudinale.)

composait d'une série de galeries concentriques, partie circulaires et partie droites, coupées par d'autres galeries rayonnantes partant de la circonférence et se dirigeant toutes vers un espace libre central de $151^{m},70$ de longueur sur $41^{m},70$ de largeur laissé en jardin.

Les galeries circulaires étaient au nombre de douze, parmi lesquelles la grande nef de 1,210 mètres de développement et de 35 mètres de largeur sur 25 mètres de hauteur. Les autres galeries avaient des ouvertures variant de 5 mètres à 23 mètres et des hauteurs de $6^{m},50$ à 15 mètres. Les galeries rayonnantes avaient des largeurs maxima de 15 mètres et des hauteurs maxima de 25 mètres.

L'ossature générale de tout le système était en fer et fonte. Les fermes de la grande nef, distantes de 15 mètres et de $12^{m},27$ d'axe en axe, se composaient de montants verticaux tubulaires en tôle à section rectangulaire, reliés à la partie supérieure par un arc tubulaire en tôle d'une portée libre de 33 mètres. Les montants étaient renforcés à l'intérieur, de mètre en mètre, par des croisillons en cornières et tôles. Les arcs se composaient de deux

tôles verticales pleines de $0^m,80$ de hauteur, distantes l'une de l'autre de 0^m65 et reliées de distance en distance par des cornières s'opposant au voilement dans le sens transversal.

Les arcs des différentes fermes étaient maintenus ensemble par des pannes, par un faîtage formé de deux pannes liées ensemble et par des sablières supérieures et inférieures.

Les fermes de 23 mètres de portée étaient du système Polonceau ordinaire avec deux arbalétriers soutenus en leur milieu par une bielle en fonte, les têtes des bielles étant reliées entre elles et avec les arbalétriers par des tirants en fer rond.

(Maison Cail. — Maison Gouin.)

III. — EXPOSITION DE 1878.

Le palais, élevé au Champ de Mars, était composé de deux grandes halles, placées une à chaque extrémité de la largeur, et d'une série de halles intermédiaires de moindre importance au point de vue de la construction.

L'une des grandes halles, à laquelle était adossée une galerie, à l'extérieur, formait la Galerie des Machines. La largeur de la nef de cette dernière était de 37 mètres, la portée des fermes étant de 35 mètres. Les fermes étaient du type de Dion, dans lequel l'arc et les piliers sont solidaires et forment ensemble une poutre courbe, dont les extrémités sont encastrées dans des dés en maçonnerie (fig. 219).

On avait, à l'époque, considéré comme une œuvre audacieuse la construction de ces fermes sans aucun tirant ni support intermédiaire.

La hauteur, sous faîtage, était de 24 mètres; l'écartement moyen des fermes de 15 mètres, et la longueur totale de la halle de 645 mètres. La poutre était à claire-voie; les piliers avaient la forme de caissons rectangulaires.

Le montage avait été effectué au moyen d'échafaudages rou-

lants, sur lesquels nous n'insisterons pas. (Directeur des travaux : M. Duval. — Constructeurs : Le Creusot et Cie de Fives-Lille.)

L'Exposition de 1878 comportait aussi des galeries annexes avec des charpentes en fer d'une portée de 25 mètres du type de Dion, puis des galeries intérieures d'une portée de 25 mètres avec fermes à la Polonceau.

Nous devons encore mentionner la voûte de la salle des fêtes du palais du Trocadéro, dont l'ossature métallique se compose prin-

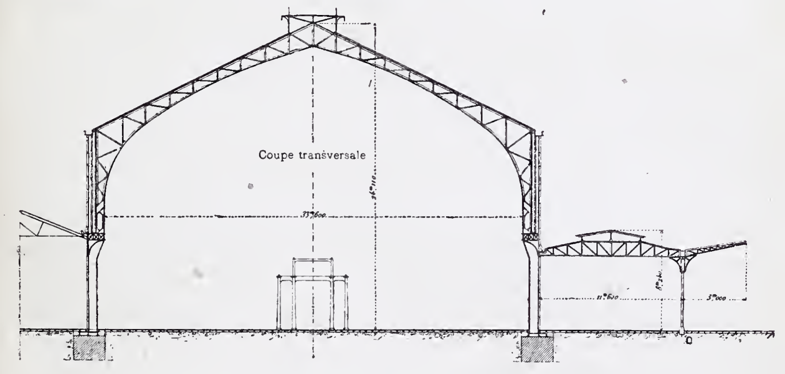


Fig. 219. — Exposition de 1878. — Galerie des Machines. (Coupe transversale.)

cipalement de douze arbalétriers en tôles et cornières dont la section a environ 1 mètre de hauteur. (Architectes : MM. Davioud et Bourdais.)

Notons aussi le bâtiment si élégant, construit par la maison Eiffel, sous la direction de M. Bouvard, qui servait à l'Exposition de la Ville de Paris et qui a été transporté aux Champs-Élysées, entre la Seine et le palais de l'Industrie.

IV. — EXPOSITION DE 1889.

Ainsi que nous l'avons dit, l'Exposition de 1889 a été surtout remarquable par les constructions et palais élevés au Champ de Mars.

En partant de l'École Militaire, c'est d'abord le palais grandiose des Machines, avec sa nef hardie et élancée de 420 mètres de longueur et de 115 mètres d'ouverture, flanquée sur les longs côtés de deux galeries de 15 mètres de largeur.

Au milieu de la longueur du palais, une grande galerie d'honneur, terminée par un dôme central, lui sert de vestibule monumental. Ce dôme est des plus remarquables par ses proportions hardies et l'harmonie de son ensemble.

De chaque côté de la galerie centrale d'honneur, qui a 30 mètres de largeur et 200 mètres de longueur, débouchent, parallèlement au palais des Machines, des galeries de 25 mètres d'ouverture, au nombre de sept de chaque côté. D'autres galeries disposées à angle droit et à la suite des précédentes, complètent avec elles la construction dite des expositions diverses. Cet ensemble occupe à lui seul une surface de 108,000 mètres carrés environ. Des vestibules de 15 mètres de largeur, terminés par des pavillons carrés, raccordent ces deux groupes de galeries.

Viennent ensuite le palais des Beaux-Arts et le palais des Arts libéraux, avec leurs dômes centraux qui terminent l'ensemble grandiose des palais de l'Exposition.

Enfin, à l'entrée du Champ de Mars, devant le pont d'Iéna, se dresse comme un gigantesque arc-de-triomphe, élevé en l'honneur de l'Industrie française, la Tour de 300 mètres.

Nous allons examiner les plus intéressantes de ces diverses parties, en citant aussi pour mémoire quelques-unes des constructions secondaires de l'Exposition.

Galerie des Machines. — C'est la construction métallique de l'Exposition de 1889 qui, avec la Tour de 300 mètres, présente le plus d'intérêt en raison de son poids considérable, de sa hauteur et de son ouverture exceptionnelles.

Elle est d'une conception grandiose et d'une grande élégance, cette portée des fermes de 115 mètres, sans une colonne, sans un tirant qui viennent rompre la perspective et arrêter le regard (fig. 220).

L'œuvre entière fait le plus grand honneur à ceux qui l'ont conçue et étudiée : MM. Dutert, architecte, et Contamin, ingénieur en chef, et aux constructeurs qui l'ont exécutée : M. Eiffel et la Compagnie de Fives-Lille.

Nous devons dire que le système n'était pas absolument

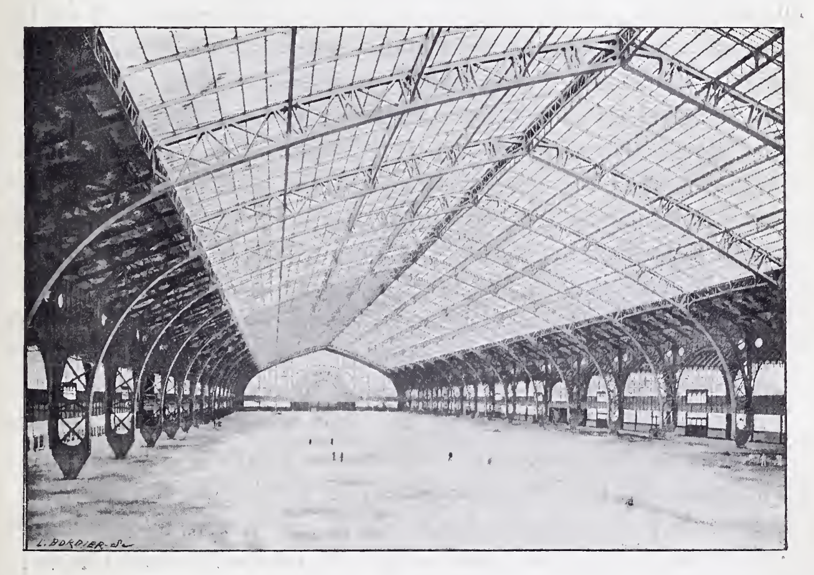


Fig. 220. — Exposition de 1889. — Galerie des Machines.
(Vue intérieure.)

nouveau; il avait déjà été employé dans un certain nombre d'ouvrages, mais jamais avec des dimensions aussi gigantesques.

Chaque ferme est composée de deux parties symétriques, par rapport à la verticale, formant chacune pied-droit et arbalétrier; elles reposent à leur partie inférieure sur deux articulations placées au niveau du sol et, à la partie supérieure, s'arc-boutent en formant une ogive surbaissée. L'ouverture de la ferme est de 115 mètres, et sa hauteur sous clef de 43 mètres. L'ossature de chaque ferme est composée de deux membrures parallèles d'intrados et d'extrados en arcs, réunies entre elles par des entretoises et des croisillons

formant des croix de Saint-André, une haute et une aplatie alternées. A la partie inférieure des pieds-droits, les membrures se rapprochent pour former un trapèze et se terminent par un coussinet emboîtant la rotule d'articulation fixée dans un sabot. Ce sabot est logé dans une plaque de fonte ancrée dans les maçonneries des piles de fondation. A la partie supérieure, les arbalétriers de la ferme se terminent de même par des coussinets qui viennent enserrer le tourillon de l'articulation supérieure.

Les arbalétriers des fermes sont entretoisés par des cours de pannes ou poutres en N. Dans l'intervalle, entre deux fermes, trois chevrons en fer parallèles à ces fermes réunissent les pannes entre elles et supportent les petites pannes sur lesquelles reposent les fers à vitrage. Cet ensemble rigide maintient les fermes dans une position invariable. Les deux pannes de faîtage supportent un terrasson de visite avec garde-fou. On a adopté des dispositions telles que le mouvement de montée ou de descente de la ferme, par suite des variations de température, ne soit en rien gêné.

La galerie, d'une longueur de 420 mètres, se compose de vingt fermes, y compris les deux fermes verrières d'extrémités; l'écartement des fermes courantes est de $21^{m},50$. La surface couverte est de $115 \times 420 = 48,300$ mètres carrés, libre de tout appui intermédiaire. Le poids d'une ferme courante est de 196 tonnes; celui des fermes de tête est de 240 tonnes.

L'ossature métallique de la galerie est en acier et pèse environ 7,400,000 kilogrammes.

La charge verticale sur chaque point d'appui était évaluée à 412 tonnes et la poussée horizontale à 115 tonnes. Les fondations devaient donc présenter une assiette exceptionnellement solide; aussi ont-elles exigé des travaux et des dépenses considérables, dont la description ne rentre pas dans le cadre de notre ouvrage.

Le montage du palais a demandé six mois de travail. La construction avait été confiée moitié à la Compagnie de Fives-Lille, moitié à la Société des anciens établissements Cail.

Chacune de ces deux sociétés a employé des procédés de

montage différents, dans le détail desquels nous allons entrer :

La Compagnie de Fives-Lille a procédé en levant chaque ferme par masses pesant jusqu'à 48 tonnes et en se servant d'échafaudages indépendants, c'est-à-dire ne supportant pas la ferme.

La Société Cail a monté la ferme par parties, dont le poids n'excédait pas 3 tonnes et en se servant d'un échafaudage continu, la portant jusqu'à son complet achèvement.

Voici quel a été le système de montage de la Compagnie de Fives-Lille, étudié par M. Lantrac, ingénieur en chef de cette Com-

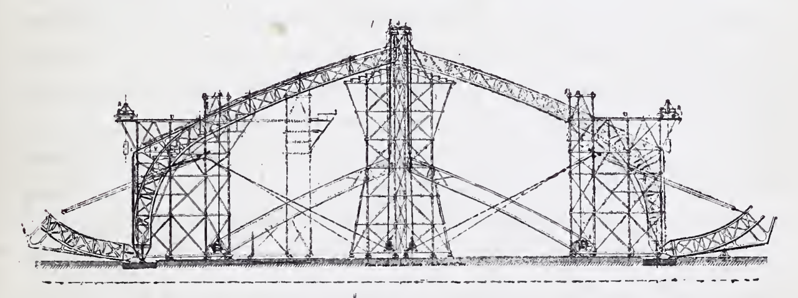


Fig. 221. — Galerie des Machines. — Montage des grandes fermes. (Système Fives-Lille.)

pagnie. Chaque ferme était décomposée en quatre tronçons : deux pieds-droits et deux arbalétriers. Les parties des tronçons étaient assemblées sur le sol même du palais. Puis chaque tronçon était levé à sa place définitive et rivé aux voisins sur les échafaudages.

Le total des rivures d'une ferme, non comprises celles des pannes et autres pièces composant la travée, était de 32,000 environ. Sur ce nombre, 19,600 ont été exécutées aux ateliers, 10,300 sur le sol et 2,100 sur les échafaudages. Le levage s'est effectué au moyen d'un pylône central et de deux échafaudages latéraux (fig. 221), tous indépendants les uns des autres, montés sur des galets et roulant sur des rails placés parallèlement à l'axe du palais et pour les derniers perpendiculairement à cet axe. Le pylône central, de 52 mètres de hauteur, avait un plancher supérieur à

gradins, dont la ligne de pente suivait l'inclinaison des arbalétriers et portait, à sa partie supérieure, deux poulies de levage commandées par deux treuils, ces derniers placés sur un plancher inférieur. Les deux échafaudages latéraux, de 36 mètres de hauteur, se composaient de trois parties : un pylône portant un plancher supérieur dont les gradins suivaient la pente de l'intrados de la ferme, puis deux pylônes placés des deux côtés du premier et reliés à ce dernier, portant à leur partie supérieure une plateforme, sur laquelle roulait un appareil de levage. Le plus élevé des deux portait, en outre, à sa partie supérieure, une poulie de levage commandée par un treuil.

Les quatre tronçons composant la ferme étant formés sur le sol, on procédait ainsi à leur montage : On levait d'abord le pied-droit en le faisant basculer autour d'un tourillon spécial auxiliaire, ne servant que pour le montage, jusqu'à ce que le coussinet du pied-droit vînt porter sur la rotule. Le levage se faisait au moyen de câbles et de poulies mouflées, les unes fixées sur l'échafaudage latéral et les autres attachées à la partie supérieure du pied-droit. Le câble du palan principal s'enroulait sur le treuil du pylône central. On calait les pieds-droits levés sur les échafaudages latéraux. Pour le levage d'un pied-droit de 48 tonnes, avec une équipe de 16 hommes, il fallait trois heures.

On levait ensuite, au moyen des grues roulantes placées sur les échafaudages latéraux, les pièces de membrures et les treillis formant le raccordement entre les grands tronçons de la ferme.

Venait alors le levage des arbalétriers. Les deux arbalétriers étant assemblés et rivés sur le sol, on amarrait chacun d'eux à ses deux extrémités par des câbles, puis on les soulevait progressivement au moyen du treuil du pylône central et de celui du pylône extérieur. Chaque arbalétrier pesait 38 tonnes. Quand les deux arbalétriers étaient arrivés à leur position définitive et étaient en contact parfait à leur partie supérieure, de façon que les coussinets de tête enserrassent le tourillon de l'articulation supérieure, on boulonnait le collier qui réunissait les deux coussinets; en

même temps, on assurait la jonction des arbalétriers avec les pieds-droits. Le levage des grands tronçons demandait cinq heures avec 80 hommes.

Les grues mobiles des pylônes extrêmes servaient à lever la sablière basse, l'arceau et le chéneau reliant deux fermes consécutives. Puis on procédait au levage et à la mise en place des pannes. Pour les pannes à placer au-dessus du vide laissé entre les échafaudages, on procédait ainsi : on les amenait sur le plancher supérieur de l'échafaudage ; on les assemblait avec leurs chevrons sur le plancher en gradins, et on amenait tout l'ensemble à l'emplacement qu'il devait occuper, en le faisant rouler sur l'extrados des fermes, au moyen de galets fixés préalablement aux extrémités des pannes. Le mouvement était donné par deux treuils placés sur le pylône central. Puis on enlevait les galets, et on faisait descendre le système à sa place définitive. Quant aux pannes extrêmes, elles étaient montées directement sur les échafaudages sans aucune difficulté.

Dans le système de montage de la Société Cail, dû à M. Barbet, ingénieur en chef de cette société, l'échafaudage (fig. 222) se composait de cinq pylônes reliés entre eux par un cours de moises, et par deux planchers continus en madriers, à leurs parties supérieures. Il comprenait deux parties distinctes : une première partie, portant un chemin de roulement pour les deux grues supérieures de montage, installé à 36 mètres de hauteur, et une seconde partie destinée à porter les fermes pendant le montage et disposée en gradins, suivant la pente de l'intrados de la ferme. Les deux grues supérieures étaient formées d'un pylône en fer de 12 mètres de hauteur, roulant parallèlement à la ferme et supportant une poutre horizontale en tôle, sur laquelle se déplaçait un treuil roulant perpendiculairement à la ferme. Elles servaient spécialement au montage des arbalétriers et des pannes.

Les cinq pylônes se déplaçaient dans le sens parallèle à l'axe du palais, sur une voie ferrée posée sur le sol. L'ensemble de

l'échafaudage qui devait se mouvoir en même temps formait un front de 102 mètres. Il était mis en mouvement par des treuils établis sur les moises basses des pylônes et au moyen de câbles fixés à des pieux enfoncés dans le sol.

Deux grues latérales de montage, de 26^{m},50 de hauteur, avaient la même disposition que les grues supérieures ; elles étaient montées sur des galets et se déplaçaient parallèlement à l'axe du palais,

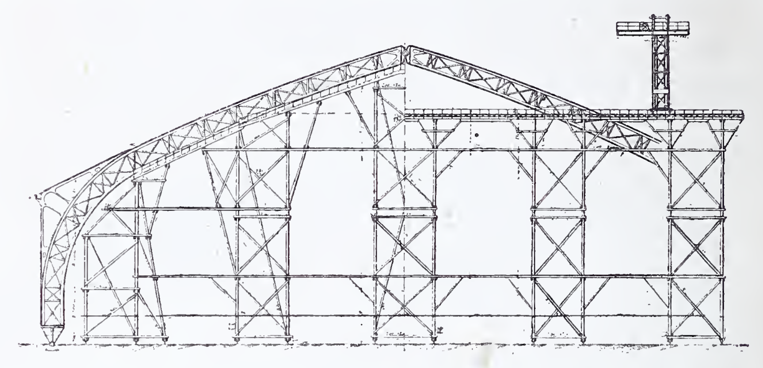


Fig. 222. — Galerie des Machines. — Montage des grandes fermes. (Système Cail.)

mais en dehors de la ligne des piles de fondation. Elles servaient à monter les pieds-droits des fermes.

Voici comment s'est effectuée la marche du montage : disons d'abord que, sur les 32,000 rivures que comporte une ferme, 4,000 ont été exécutées dans les chantiers, 8,000 ont été faites à pied-d'œuvre et 20,000 sur les échafaudages. Ces chiffres forment la contre-partie de ceux indiqués pour le système de la Compagnie de Fives-Lille. On levait, les unes après les autres et par fragments ne dépassant pas trois tonnes, les parties composant les pieds-droits au moyen des grues latérales ; des planchers volants, établis autour des pieds-droits, permettaient aux monteurs et aux riveurs de faire leur travail. Quand le montage était arrivé jusqu'au tympan portant le chéneau de la couverture, les grues latérales étaient transportées au droit de la ferme suivante, dont on

commençait alors le montage des pieds-droits. Pendant ce temps, au moyen des grues supérieures, on levait, simultanément pour les deux demi-arcs de la première ferme, les pièces des membrures et les treillis des arbalétriers, et on les assemblait, l'intrados étant calé sur des vérins. Quand on était arrivé au sommet de l'ogive,

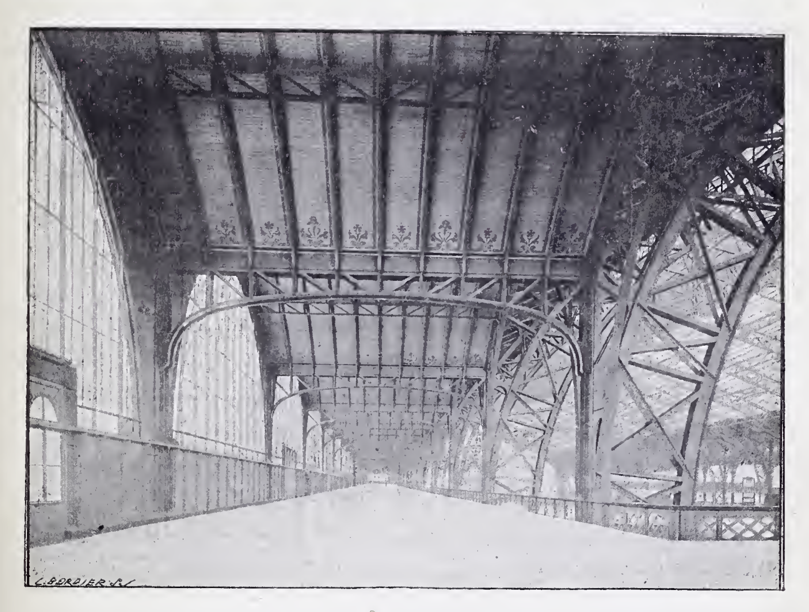


Fig. 223. — Exposition de 1889. — Galerie des Machines.
(Vue de la galerie latérale.)

on décalait la ferme qui prenait sa position définitive et l'on boulonnait le collier qui réunissait les deux coussinets d'articulation.

Quand on était assez avancé dans le montage de la ferme, on levait les pannes en commençant par la plus basse et en continuant jusqu'à la clef. Le montage des pannes et des chevrons s'est fait sans difficultés spéciales ; la figure 222 indique le système de levage.

Les mêmes échafaudages ont servi sans modification, aussi bien pour les travées extrêmes et pour la travée centrale que pour les travées courantes.

Le palais des Machines, en dehors de sa nef gigantesque, comporte encore, sur toute la longueur et aux extrémités de cette dernière, une galerie latérale avec un étage de 15 mètres de largeur, à 8 mètres au-dessus du sol de la galerie (fig. 223). De larges escaliers, situés au milieu des quatre côtés du rectangle, desservent cet étage. Le plancher de cet étage est supporté par deux grosses poutres à treillis, dont l'une entoure toute la nef. Les galeries latérales sont formées par une série de voûtes pénétrant la grande nef. Les voûtes s'étendent entre les diverses fermes de cette nef et sont formées de poutres courbes ajourées, très surbaissées et situées dans les plans mêmes des fermes de la grande nef. Les poutres forment ainsi des contreforts qui contribuent à la stabilité générale de l'édifice.

Le pignon de l'avenue de La Bourdonnais, où se trouve la principale entrée de la galerie, est très remarquable par son ampleur et sa décoration artistique. Il est flanqué de deux pylônes ajourés en fer de 35 mètres de hauteur, renfermant un escalier et un ascenseur.

Dôme central. — Le Dôme central, de 65 mètres de hauteur, comprend une nef principale et, de chaque côté de cette nef, deux pavillons carrés limités chacun par quatre pylônes.

On accède au dôme par un porche monumental, flanqué de deux tours carrées et ornées d'un balcon en encorbellement.

Le dôme est hémisphérique et surmonte un fût cylindrique (fig. 224). La hauteur de l'ossature est de 55 mètres ; le diamètre du dôme est de 30 mètres. La coupole est constituée par huit demi-fermes principales et par huit demi-fermes intermédiaires. Ces demi-fermes reposent sur huit piliers de 40 mètres de hauteur. Trois ceintures circulaires relient les piliers à différentes hauteurs. Les fermes intermédiaires sont supportées par des arcs métalliques reposant sur les huit piliers.

L'ensemble des fermes s'appuie au sommet sur une couronne métallique qui supporte une statue de 9 mètres de hauteur.

Le montage, qui a été rendu difficile par la nécessité d'élever des matériaux à de grandes hauteurs, s'est ainsi effectué :

Pour procéder au levage du fût cylindrique, on s'est servi d'un échafaudage couronné, à 44 mètres de hauteur, d'une plate-forme

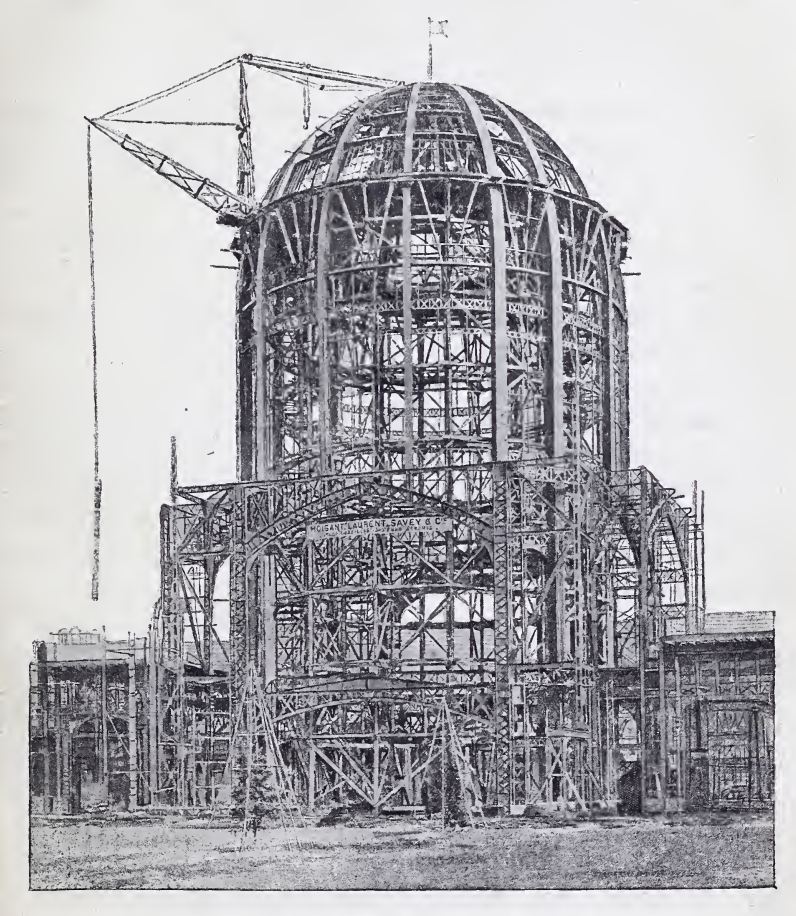


Fig. 224. — Dôme central de l'Exposition de 1889.
(Vue de l'ossature pendant le montage.)

circulaire portant un chemin de roulement pour une grue de levage dont tous les mouvements étaient commandés du sol. Quand la hauteur des arbalétriers atteignit 44 mètres environ, une partie en

encorbellement, de 31 mètres de diamètre, fut ajoutée autour de la plate-forme ; on installa aussi une tourelle centrale, et au moyen de la grue disposée d'une façon différente on procéda au montage des pièces de la coupole, qui étaient amenées de l'intérieur de l'échafaudage.

Le montage des pavillons, des pylônes et de la façade principale s'est effectué au moyen d'une bigue, supportée par la grue, qui permettait d'atteindre des parties situées jusqu'à 30 mètres de l'axe du dôme.

Enfin, l'armature de la statue a été montée sans dispositif spécial.

Le poids de la construction métallique totale est d'environ 1,000 tonnes. (Architecte : M. Bouvard. — Constructeurs : Moisant, Laurent, Savey et Cie.)

Galerie centrale de 30 mètres. — Le grand vestibule central qui va du Dôme à la galerie des Machines présente une longueur de 200 mètres et une largeur de 30 mètres. Il est constitué par des fermes rigides, dont l'intrados est en forme d'ogive surbaissée, reposant sur des piliers métalliques de $12^{m},75$ de hauteur. Chaque ferme est écartée de la voisine d'une distance de 25 mètres correspondant à la largeur des galeries des industries diverses qui y viennent déboucher. Les fermes sont reliées entre elles par sept pannes constituées par des poutres à treillis, qui forment contreventement. Ces pannes supportent des chevrons sur lesquels la couverture est posée.

Chaque ferme pèse 30,000 kilogrammes.

Sur ses côtés, la galerie est close par des pans de fer.

Galeries des industries diverses. — Elles sont constituées par des fermes de 25 mètres d'ouverture, qui sont du type courant.

Galeries Rapp et Desaix. — Ces galeries sont formées de fermes de 30 mètres de largeur, soutenues par des colonnes intermédiaires en fonte de 18 mètres de hauteur. Les fermes reposent d'un côté sur un mur et de l'autre sur des piliers métalliques.

Palais des Beaux-Arts. — Le palais est formé d'une nef centrale et de deux galeries latérales (fig. 225).

Les fermes de la nef ont une portée de 52^{m},80 ; elles sont montées sur deux tourillons aux naissances et sont articulées à la clef. La hauteur de l'articulation supérieure au-dessus du sol est de 28^{m},875. L'espacement des fermes d'axe en axe est de 18^{m},10 ; des pannes entretoisées par des chevrons les relient entre elles. Les fondations n'ayant pu être établies assez solidement, on a relié

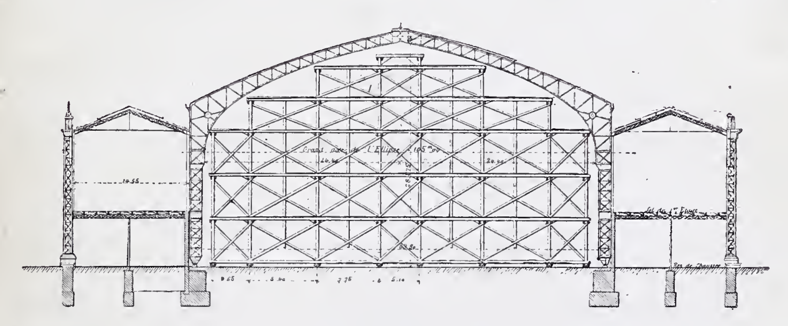


Fig. 225. — Exposition de 1889. — Palais des Beaux-Arts.
(Coupe transversale pendant le montage.)

les pieds de chaque ferme par des tirants dissimulés dans le sol, comme à la gare de Saint-Pancrace, à Londres.

Les galeries latérales sont constituées de fermes de 15 mètres d'ouverture, s'attachant d'un côté sur les fermes de la nef et de l'autre sur des piliers de 20 mètres de hauteur.

Des arcades réunissent les sommets des piliers voisins. Les galeries latérales comportent un étage dont le plancher repose, d'une part sur des poutres en treillis entretoisant les piliers, d'autre part sur une forte poutre fixée aux piliers des fermes de la nef.

Le levage des fermes s'est effectué au moyen d'un seul échafaudage, monté sur des galets et pouvant se déplacer dans le sens parallèle à l'axe du palais. Cet échafaudage, dont la largeur était de 22 mètres, c'est-à-dire supérieure à l'espacement de deux fermes consécutives, était formé de palées entretoisées entre elles.

Plusieurs plates-formes en gradins terminant l'échafaudage à sa partie supérieure recevaient les chèvres de levage et servaient à l'assemblage des pièces avant leur mise en place.

Les fermes de la nef étaient levées en dix parties. On commençait par lever les piliers verticaux au moyen des chèvres installées sur la première plate-forme ; puis on les laissait reposer sur les tourillons. On montait les deux tympans jusqu'à la première panne. Enfin, les arbalétriers étaient levés en six parties que l'on assemblait sur les plates-formes. Les fragments ainsi levés des fermes ne dépassaient pas 8 tonnes.

Au centre du palais des Beaux-Arts s'élève un dôme de 30 mètres de diamètre et de 60 mètres de hauteur. Sa construction ressemble à celle du dôme du palais des Arts-Libéraux que nous décrivons plus loin.

Le palais se termine, du côté de la Seine, par des pavillons surmontés chacun d'une coupole sur plan carré. (M. Formigé, architecte.)

Palais des Arts libéraux. — L'ossature métallique de ce palais est identique à celle du palais des Beaux-Arts.

L'échafaudage qui a servi au levage des fermes était composé de deux pylônes extrêmes, réunis par une partie centrale, terminée elle-même par des plates-formes en gradins sur lesquelles étaient installés les appareils de levage. Tout l'ensemble pouvait se déplacer dans le sens de l'axe du palais, au moyen de galets fixés sous les deux pylônes.

Le levage des fragments des fermes s'est fait de la même façon que pour le palais des Beaux-Arts.

Le palais se termine, du côté de la Seine, par des pavillons surmontés chacun d'une coupole sur plan carré.

Au centre du palais s'élève un dôme de 60 mètres de hauteur et de 34 mètres d'ouverture (fig. 226). Il est composé d'une grande nef centrale et de deux porches latéraux. La nef est constituée par quatre piliers en tôle de 29 mètres de hauteur, à section carrée, supportant un châssis octogonal sur lequel s'appuyent les fermes

de la coupole. Quatre poutres principales reposant sur les piliers, et quatre poutres-doubleaux réunissant entre elles dans les angles les poutres principales, forment ce châssis. Quatre arcs, jetés sous l'intrados des poutres principales, relient les piliers entre eux ; de même des arcs-doubleaux sont attachés sous les poutres-doubleaux.

Les deux porches se relient à la nef centrale au moyen d'une partie constituée par deux piliers placés en face de ceux de la nef, avec lesquels ils sont reliés par deux arcs. Le porche est composé des mêmes fermes que les galeries annexes.

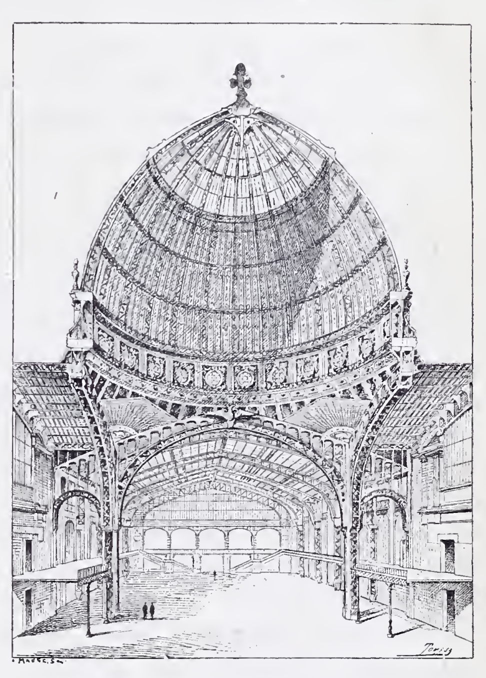


Fig. 226. — Exposition de 1889.
Palais des Arts libéraux. (Coupe du dôme.)

La coupole est formée de douze fermes réunies à leur partie inférieure et supportées par une double ceinture, et s'appuyant au faîtage sur une couronne de 4 mètres de diamètre. Cinq cours de pannes entretoisent les fermes et supportent les chevrons et la couverture. Le poids du dôme est de 570 tonnes, celui de ses annexes de 380 tonnes.

L'ensemble du dôme du palais des Beaux-Arts pèse 20 tonnes de moins.

Le montage a été effectué au moyen d'un grand échafaudage en bois, composé d'une partie intérieure qui atteignait le sommet de la coupole et a servi au levage de cette dernière, et d'une partie

extérieure de 28 mètres seulement de hauteur, se terminant par une plate-forme et qui a servi au levage des piliers et du châssis. On a d'abord levé d'une seule pièce chaque pilier. Le pilier était placé sur le sol de telle manière que sa partie supérieure fût à l'emplacement de sa fondation, la partie inférieure reposant sur un chariot mobile sur rails. A la tête du pilier était fixée une chaîne passant sur une poulie mouflée et enroulée sur un treuil. En agissant sur ce treuil, on soulevait la tête du pilier et, à mesure qu'elle s'élevait, le pied se rapprochait de son emplacement définitif. Les diverses parties des fermes étaient assemblées sur la plate-forme de l'échafaudage avant d'être levées.

Le dôme du palais des Arts libéraux, ainsi que celui du palais des Beaux-Arts, ont été construits par la Société des ponts et travaux en fer. Ce sont deux des plus importantes constructions de l'Exposition. (M. Formigé, architecte.)

Pavillon de la république du Chili. — Construit entièrement en fer, ce pavillon était destiné à être transporté à Santiago et devait pouvoir supporter les tremblements de terre. Aussi l'ossature était-elle facilement démontable et remontable, et présentait-elle une grande stabilité.

L'ensemble de la construction, formé d'un rez-de-chaussée et d'un étage, couvrait une surface de 500 mètres carrés. Il comprenait un bâtiment central avec dôme flanqué de quatre pylônes (fig. 227).

L'ossature se composait de deux parois comprenant un vide entre elles; cette disposition avait pour but de maintenir à l'intérieur une température constante.

Cette construction des plus intéressantes a été exécutée par la maison Moisant.

Pavillon du Mexique. — Cette construction massive, toute en fer et fonte, recouvrait un espace rectangulaire de 70 mètres de long sur 33 mètres de large avec avant-corps aux extrémités et au centre de l'édifice. Elle reposait à l'intérieur sur soixante-quatre colonnes en fonte formant la salle centrale et supportant les poutres du premier étage. Les parois extérieures se composaient de piliers en

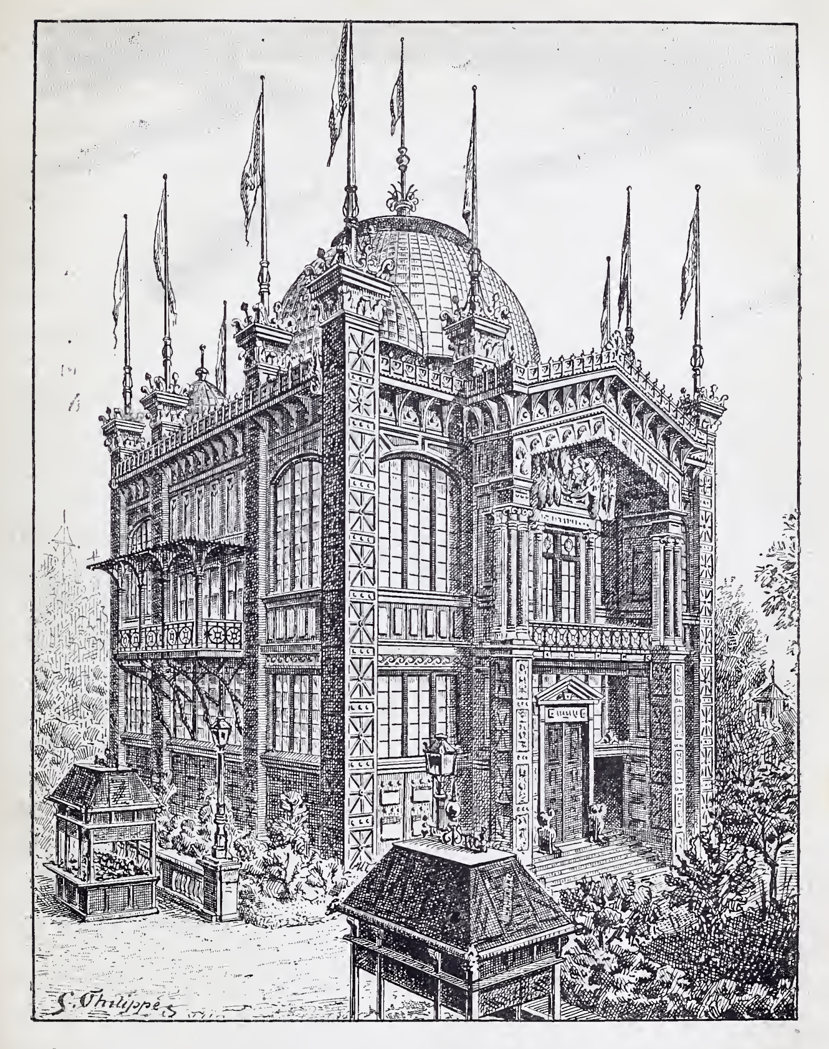


Fig. 227. — Exposition de 1889. — Pavillon de la république du Chili.

tôle et cornières recouverts d'un blindage en tôle mince d'acier sur lequel était fixée la décoration en zinc.

Le plancher du premier étage était en tôle ondulée. La toiture, en terrasse, était formée de poutres horizontales reposant sur les colonnes et les piliers. La couverture était en tôle.

La hauteur du bâtiment était de $14^{m},50$. Le poids des fers et fontes entrant dans la construction proprement dite s'élevait à 650 tonnes environ. Le bâtiment devant être transporté au Mexique après l'Exposition, la construction a été dirigée de telle sorte que le démontage en fût facile, sans modification des pièces qui le composaient.

La Tour de 300 mètres à l'Exposition universelle de Paris. — C'est le plus haut monument que l'homme ait jamais élevé, et il mérite que nous entrions dans les détails de sa construction. Nous ne pouvons mieux faire que de donner des extraits d'une conférence faite à Paris, aux anciens élèves de l'École polytechnique de Zurich, par M. Kœchlin, le distingué ingénieur qui, avec M. l'ingénieur Nouguier et M. l'architecte Sauvestre, ont étudié la tour Eiffel.

La tour, dont la charpente métallique est en fer, est portée sur quatre pieds ou groupes de massifs de fondation entourés de soubassements.

Dans sa hauteur, la tour est divisée en trois étages, avec planchers situés à des niveaux de $57^{m},63$, $115^{m},73$ et $276^{m},13$. Entre le deuxième plancher et le troisième se trouve un quatrième plancher destiné au service des ascenseurs.

L'ossature métallique ou la partie résistante de la tour se compose essentiellement de quatre montants formant les arêtes d'une pyramide à faces planes, jusqu'au premier étage, et courbes au-dessus ; la tour présente quatre faces identiques. Chaque montant offre une section carrée dans un plan horizontal; cette section est constante et a 15 mètres de côté jusqu'au premier étage; elle diminue ensuite jusqu'au deuxième étage, où elle n'a plus que $10^{m},035$ de côté. A partir de ce point, les faces intérieures disparaissent et l'on n'a plus qu'un grand caisson unique à quatre faces. Le diagramme (fig. 228) donne les dimensions principales de l'ossature.

Au premier étage, une galerie couverte extérieure, portée par des consoles et ayant 270 mètres de développement, fait le tour de la construction. Tout l'espace compris entre les montants et dans l'intérieur de ceux-ci porte un plancher laissant un grand vide central entouré d'un garde-corps. La surface totale des planchers, déduction faite des vides pour le passage des ascenseurs, mais en y comprenant la galerie, est de 4,010 mètres carrés.

Le deuxième étage a aussi une galerie extérieure établie de la même manière que celle du premier étage, mais d'un développement moindre (136 mètres). Le plancher s'étend à cet étage sur toute la section de la tour, sans vide central, et donne une surface de 1,300 mètres carrés.

Le troisième étage est complètement couvert et donne, avec les consoles extérieures, une surface de 270 mètres carrés.

Au-dessus, de grandes poutres portent les poulies des ascenseurs, et enfin le tout se termine par un phare maintenu par de grands arcs ; au sommet du phare se trouve une plate-forme de 1m,70 de diamètre.

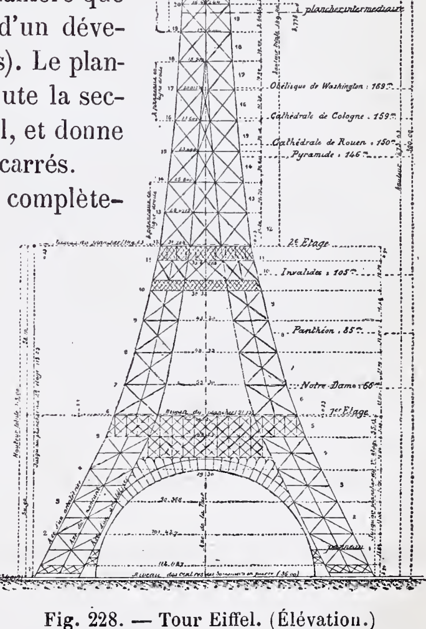


Fig. 228. — Tour Eiffel. (Élévation.)

Toutes les machines nécessaires au service de la tour sont placées dans les soubassements des piles.

Les calculs de la tour comprennent des calculs de résistance,

des calculs de stabilité et des calculs de déformation. Les éléments entrant dans ces calculs sont : les charges dues au poids propre, les surcharges, les efforts horizontaux dus au vent et enfin les changements de température.

On ne sent au sommet de la tour aucune oscillation ; la lenteur des mouvements, s'il y en a, les rend imperceptibles.

Le poids du métal entrant dans la tour est de 7,433,340 kilogrammes, se décomposant en 4,868,340 kilogrammes pour l'ossature et 2,565,000 pour les escaliers, planchers, couvertures et installations diverses. Ces poids ne comprennent pas les installations des ascenseurs, tuyaux, réservoirs, câbles, cabines, etc., donnant environ 350,000 kilogrammes. En plus du métal de la construction proprement dite, il y a à compter le poids des différents bâtiments, des installations diverses ; ce poids est de 2,620,000 kilogrammes.

La charge totale sur les appuis est de 9,643,340 kilogrammes, soit 600,000 kilogrammes par appui.

Nous ne dirons que très peu de mots des fondations.

La tour est portée par seize massifs groupés par quatre et sous les seize arbalétriers. La partie supérieure de ces massifs qui reçoit les sabots d'appui est normale à la direction des arêtes.

Si l'on compare le poids total de la tour qui est de 10,000 tonnes environ à la surface totale des fondations, de 1,200 mètres carrés, on voit que la construction de 300 mètres de hauteur ne correspond sur le sol des fondations qu'à une hauteur de $3^{m},30$ de maçonnerie comptée à 2,500 kilogrammes le mètre cube. Ces chiffres montrent combien une construction métallique est plus légère qu'un ouvrage en maçonnerie.

Au centre des massifs sont noyés deux boulons d'ancrage de $7^{m},80$ de longueur et de $0^{m},10$ de diamètre, qui donnent un excès de sécurité et en même temps ont été utiles pour le montage en porte-à-faux de la partie inférieure des quatre montants.

Chacun des pieds de la tour a exigé une fouille considérable s'étendant sur un carré de 35 mètres de côté environ et descendant

jusqu'à sept mètres au-dessous du sol. Le cube total de maçonnerie est de 12,000 mètres cubes.

A la base, sur les seize massifs de maçonnerie, se trouvent les appuis sur lesquels portent les arbalétriers ou arêtes des montants. Ces appuis se composent de trois parties : un sabot inférieur en fonte s'appuyant sur la pierre de taille; une pièce supérieure, en acier fondu, qui pénètre dans l'arbalétrier et dans le sabot; enfin

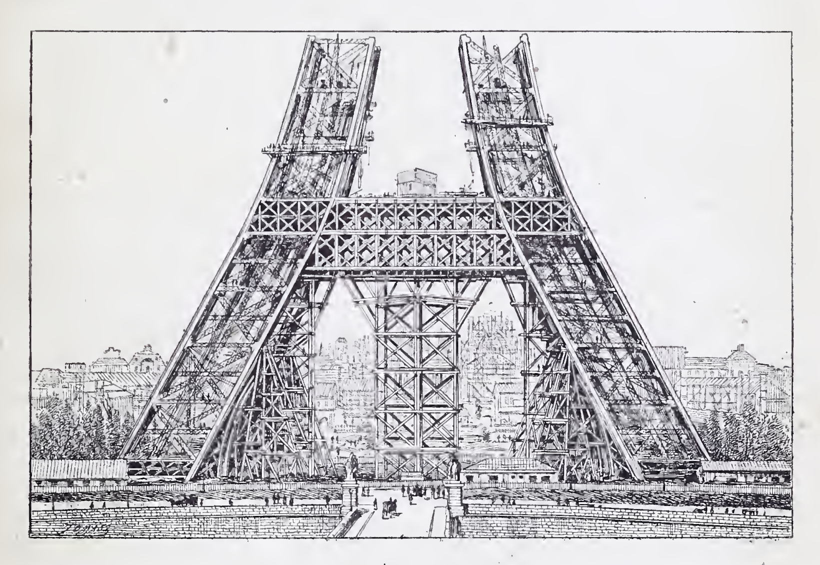


Fig. 229. — Tour Eiffel. (Vue pendant le montage.)

des cales en fer de $0^{m},010$ d'épaisseur en nombre variable, de manière à permettre le réglage. Le sabot est évidé et l'une de ses faces est munie d'une ouverture pour l'introduction d'un vérin hydraulique d'une force de 800 tonnes. Cette disposition permettrait de soulever toute la tour et par suite de régler les appuis en ajoutant le nombre de cales nécessaires, s'il se produisait un tassement de l'un des massifs en maçonnerie.

Les montants sont constitués chacun par quatre arbalétriers qui forment leurs arêtes (fig. 229). Ces arbalétriers ont une section

normale en losange. En coupe horizontale, leur section est un carré de $0^m,877$ de côté. De distance en distance (2 mètres environ) se trouve une entretoise intérieure destinée à raidir les arbalétriers. L'une des faces des arbalétriers est munie à chacun des joints d'un trou d'homme pour faire la rivure. Dans chacune des faces des montants se trouve un treillis à larges mailles et des entretoises horizontales constituées par des caissons qui sont eux-mêmes à treillis. Les panneaux formés par le treillis ont 11 mètres de hauteur jusqu'au premier étage, puis leur hauteur va en diminuant jusqu'à $5^m,833$. Au premier et au deuxième étage, le treillis est remplacé par de véritables poutres qui constituent avec celles des planchers des ceintures complètes.

Les arbalétriers intérieurs s'arrêtent au plancher du deuxième étage, et au-dessus de cet étage les arbalétriers intermédiaires d'une même face se rapprochent pour se réunir, au dix-huitième panneau. A partir de ce moment, il n'y a plus que huit arbalétriers, quatre dans les angles et quatre au milieu des faces. Au lieu d'être en forme de caisson complet, ils ne sont plus composés que de deux âmes à angle droit de $0^m,50$ de largeur réunies et raidies par des cornières. Aux attaches des entretoises et des barres de treillis, sur la hauteur nécessaire à l'attache, le caisson est complété et fermé sur ses quatre faces. De distance en distance, tous les $2^m,50$ environ, les arbalétriers sont entretoisés par des goussets d'angle s'opposant à la déformation des faces. Au niveau de chaque entretoise se trouve un entretoisement horizontal pour maintenir tous les arbalétriers dans leur position relative.

Le plancher du premier étage, à l'exception de la galerie extérieure, est supporté tout entier par des briques creuses. La galerie est portée par des colonnes en fonte à l'extérieur et par des piliers en fer à l'intérieur. Les colonnes servent d'appuis à des arcades en bois et fer assemblés. Au droit de chaque colonne, un entretoisement en fer raidit la galerie dans le sens transversal. Le plancher de la galerie repose sur des solives en bois. Des garde-

corps de $1^{m},20$ de hauteur entourent la galerie et le vide intérieur du premier étage.

Pour la deuxième plate-forme, le plancher est constitué comme celui du premier étage. La galerie du pourtour, avec garde-corps, est entièrement en fer; elle se compose de fermes espacées de $3^{m},36$ et portées par des piliers en fer.

La plate-forme supérieure est entièrement abritée. Elle forme une seule pièce qui a $16^{m},50$ de côté; la partie centrale a au-dessus d'elle un deuxième étage de 100 mètres carrés, tandis que le pourtour forme marquise.

Nous n'avons pas décrit, avec intention, les installations des restaurants, kiosques, etc., que tout le monde connaît. On accède aux différentes parties de la tour, soit par des ascenseurs, soit par des escaliers dont quelques-uns sont disposés dans les montants des piles.

On avait prévu, à l'origine, une décoration beaucoup plus abondante que celle que l'on trouve dans l'exécution. Plus la tour s'élevait, plus il devenait évident que les détails d'architecture se perdraient dans une construction aussi immense.

Ce qui caractérise la tour, ce sont les grandes lignes, la légèreté, la grandeur, en un mot c'est une œuvre d'ingénieur et non un monument d'architecture. Les artistes, et les architectes même, qui ne voyaient au début dans la tour, pour se servir de leur expression, qu'un énorme squelette, exprimèrent plus tard le désir qu'on laissât apparentes, autant que possible, toutes les pièces de la construction; ces pièces, dont les dimensions et la forme sont déterminées par les calculs de résistance, sont loin d'être d'un aspect désagréable. Les parties qui peuvent être considérées comme décoratives, tout en ayant cependant un côté utile, sont : les soubassements, les galeries du premier et du second étage et les consoles qui les portent, enfin les grands arcs de 74 mètres d'ouverture situés dans le plan des faces intérieures et extérieures.

Voici comment le montage a été opéré :

Arrivant de l'usine de Levallois-Perret, les fers étaient reçus

au Champ de Mars par une grue roulante qui les déchargeait, les portait et les déposait au lieu d'approvisionnement et de classement. De là partaient quatre voies se dirigeant chacune vers une des piles de la tour et permettant d'amener chaque pièce à l'endroit où les engins de levage avaient à la reprendre.

En définitive, le chantier inférieur de la tour comprenait quatre chantiers distincts mais identiques, un pour chaque montant.

Le montage peut se diviser en trois périodes :

Dans la première, les quatre montants de la tour ont été montés en porte-à-faux sur 27 mètres de hauteur. La stabilité était assurée par les amarrages définitifs des arbalétriers.

Arrivé à 27 mètres de hauteur, à la partie supérieure du deuxième panneau, chacun des quatre montants était soutenu par trois pylônes indépendants de 27 mètres de hauteur sur lesquels s'appuyaient les arbalétriers sauf celui d'angle (fig. 229). L'appui des arbalétriers sur les pylônes se faisait au moyen de consoles en fer rivées sur les arbalétriers et portant sur des boîtes à sable placées au sommet des pylônes.

La deuxième période, la plus difficile et la plus délicate, comprend le montage des montants à partir du sommet des pylônes jusqu'à 48 mètres ; il s'est effectué comme dans la première période, en porte-à-faux, mais en s'appuyant sur les pylônes. En même temps, on mettait en place, sur quatre grands échafaudages de 41 mètres de hauteur, les poutres décoratives qui sont situées au-dessus des arcs et qui viennent s'attacher sur les montants. Les quatre montants étant reliés par ces poutres dans chacune des faces de la tour, la construction présentait par elle-même un ensemble solide sur lequel le montage a pu se continuer en s'élevant progressivement, tout échafaudage devenant inutile pour la stabilité ; c'est la troisième et la dernière période.

On mettait en place d'abord les tronçons d'arbalétriers ; un tronçon en montage, aussitôt arrivé à sa position, était réuni au tronçon précédent par des broches, puis par des boulons.

Après les arbalétriers venaient les treillis et les entretoises

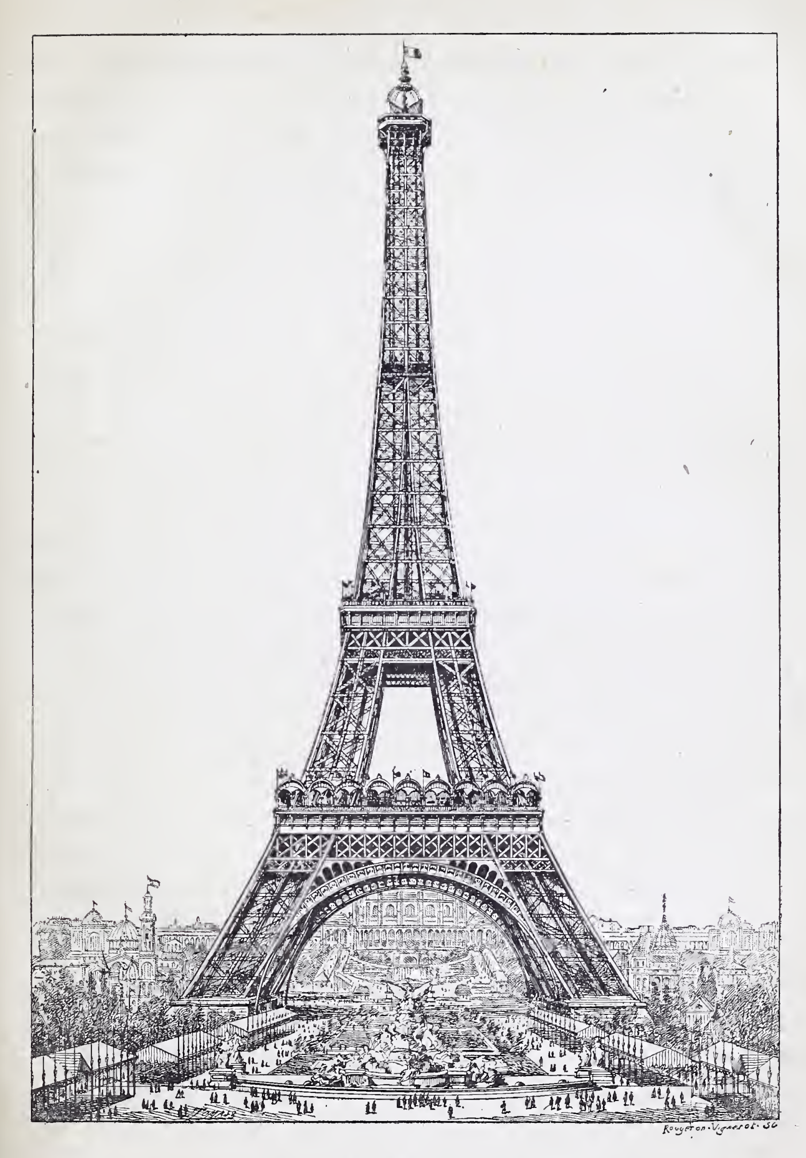


Fig. 230. — Tour Eiffel de 300 mètres.

qui, en réunissant les portions des montants déjà levées, leur donnaient leur réglage de position relative.

Derrière les équipes de monteurs venaient les équipes de riveurs qui substituaient aux boulons des joints des rivets posés à chaud et formant la véritable et définitive liaison des pièces entre elles.

Les quatre montants ont été établis dans une direction se rapprochant plus de la verticale que de la direction définitive, de manière à assurer un jeu de quelques centimètres entre ceux-ci et les poutres décoratives. En faisant écouler le sable des boîtes à sable situées sur les pylônes et en agissant dans les appuis des pieds des arbalétriers, au moyen de vérins hydrauliques, pour retirer une à une les cales des appuis, les montants ont été abaissés et inclinés dans leur position définitive.

Chacun des montants pesait, au moment de cette manœuvre, environ 380,000 kilogrammes. La charge d'une poutre décorative sur son échafaudage était de 70,000 kilogrammes environ.

Le levage et la mise en place des pièces s'est faite au début, jusqu'à 20 mètres de hauteur environ, au moyen de chèvres; puis au moyen de grues montant sur les chemins des ascenseurs ; enfin, quand on s'est élevé davantage, par des treuils à vapeur établis successivement aux différents étages. A chaque étage se trouvait une voie ferrée avec wagonnets pour amener les pièces à l'endroit voulu.

Le nombre de trous percés dans les tôles est de 7 millions environ. La moyenne d'épaisseur étant de $0^{m},01$, les trous placés bout à bout formeraient un tube de 70 kilomètres de longueur. Les rivets employés sont au nombre de 2,500,000 environ. Le chantier de montage et toutes les installations ont été dirigés par M. Nouguier. Les chefs de chantier ont été M. Martin pour les maçonneries, puis M. Compagnon pour la partie métallique.

V. — EXPOSITION DE CHICAGO (1893)[1].

De même qu'à l'Exposition de 1889 à Paris, la construction métallique a été très largement employée pour les bâtiments de l'Exposition de Chicago. Mais les architectes américains n'ont pas suivi la voie que leur avaient tracée les ingénieurs et les architectes français. Dans les palais de l'Exposition de 1889, en effet, le métal est apparent à l'extérieur et on l'a fait concourir à la décoration des édifices. Rien de semblable à Chicago : les palais ont l'aspect de constructions en maçonnerie.

Cela dit, nous allons passer en revue les divers palais dans lesquels l'ossature est métallique.

Palais des manufactures et des arts libéraux. — C'est le plus vaste et le plus important édifice de l'Exposition. C'est celui du monde qui couvre la plus grande surface (plus de 12 hectares). Il est de forme rectangulaire et se compose d'une immense nef centrale, entourée de galeries couvertes de dimensions relativement exiguës ; le tout a une longueur de 514 mètres et une largeur de 240 mètres. La grande nef a une longueur de 387 mètres et une ouverture de 112 mètres. Les dispositions générales des fermes qui composent cette nef sont les mêmes que celles de la galerie des Machines de l'Exposition de 1889 ; elles ont à peu près la même portée, mais elles sont plus élevées de 18 mètres, leur hauteur étant de 63 mètres du sol aux articulations supérieures et de 75 mètres au sommet de la lanterne. Les Américains ont voulu certainement faire plus grand que nous. C'est la seule raison qui explique la hauteur qu'ils ont adoptée, hauteur qui nous semble exagérée pour un édifice destiné à contenir des produits de petites dimensions. La nef est formée de dix-huit fermes principales, espacées l'une de l'autre de $15^{m},25$ et occupant une longueur de 259 mètres sur les 387 mètres de longueur totale.

1. Les renseignements qui suivent sont extraits de l'*Engineering*.

Le reste, à chaque extrémité, est fermé par un gigantesque pignon, construit sur deux grandes fermes courbes partant des angles de la nef et convergeant à son sommet (fig. 231).

Chaque ferme est composée de deux parties symétriques, qui reposent à leur partie inférieure sur deux articulations et à leur partie supérieure s'arc-boutent de même sur une articulation. L'intrados des fermes est courbe presque jusqu'au pied ; à l'extérieur, elles sont verticales jusqu'à une hauteur d'environ 30 mètres, puis deviennent courbes jusqu'au sommet.

Les pannes sont d'énormes poutres ; trois cours de solives se

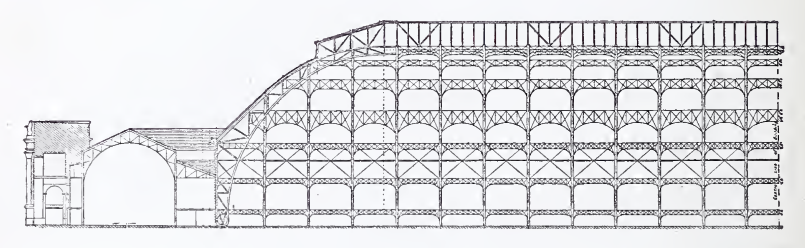


Fig. 231. — Exposition de Chicago. — Palais des manufactures et des arts libéraux. (Coupe longitudinale partielle.)

rattachent longitudinalement aux fermes dans l'espace de 30 mètres formé par leur partie extérieure verticale.

Sur chaque côté de la grande nef s'appuie un appentis de 16 mètres de largeur, suivi d'une galerie de près de 33 mètres d'ouverture, sur laquelle s'appuie un second appentis de 16 mètres. Les appentis latéraux ont un étage. Le plancher de l'étage le plus voisin de la nef centrale fait saillie à l'intérieur de cette nef, de manière à former une galerie autour d'elle.

La figure 232, prise au moment où l'on élevait la première travée, montre l'échafaudage employé, la méthode de montage, et aussi donne une notion de la constitution des fermes.

Le poids du fer de la nef est de 6,096 tonnes.

Le temps nécessaire pour monter une travée, a été de dix jours.

On a eu recours pour le montage des travées à un procédé à peu près inusité. On a complètement mis en place le plancher entier du palais ; on a constitué ainsi une plate-forme solide et horizontale, qui a beaucoup facilité l'avancement du travail. On a employé un grand échafaudage mobile (fig. 232) qui avait 15 mètres de profondeur, 79 mètres de large et 76 mètres de haut. A la hauteur de 40 mètres au-dessus du plancher, il portait une plate-forme large

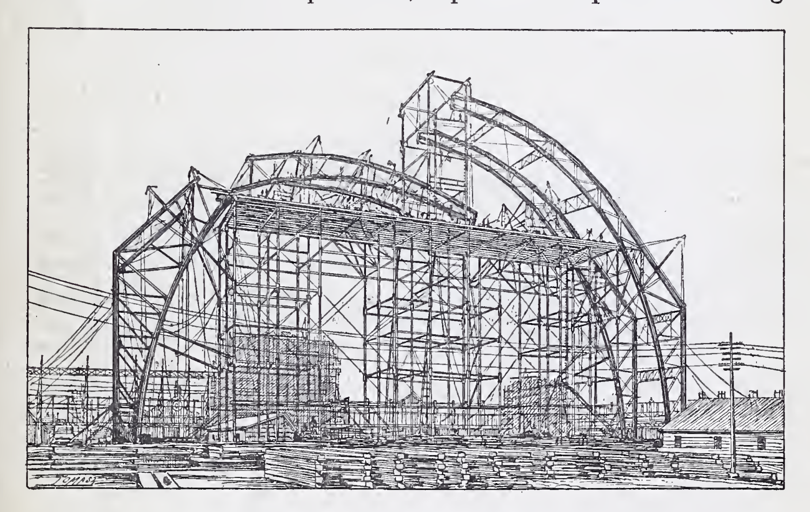


Fig. 232. — Exposition de Chicago. — Palais des manufactures et des arts libéraux. (Montage de la première travée.)

et horizontale, sur laquelle s'effectuait le montage des moitiés supérieures ou arbalétriers des fermes ; les moitiés inférieures ou pieds-droits étaient construites sur le sol.

La partie supérieure des pieds-droits mise en place était ensuite reliée par une charnière provisoire à l'extrémité inférieure des arbalétriers montés sur la plate-forme. On faisait alors tourner simultanément les deux arbalétriers de chaque ferme autour de la charnière, jusqu'à ce qu'ils fussent en place, et on les reliait par un tourillon central au sommet de l'arc. La charnière de chaque côté était alors enlevée et la liaison permanente faite.

Une travée étant terminée, l'échafaudage était roulé en arrière et il servait au montage d'une nouvelle travée.

Les coupes transversales et longitudinales, figures 231 et 232, montrent l'ossature métallique du palais.

Palais des machines. — Il mesure 259 mètres de long sur 152 mètres de large; une annexe de 152 sur 169 mètres existe à son extrémité ouest.

Trois galeries principales occupent la longueur et la largeur du palais (fig. 233); elles ont 39 mètres de large et sont traversées

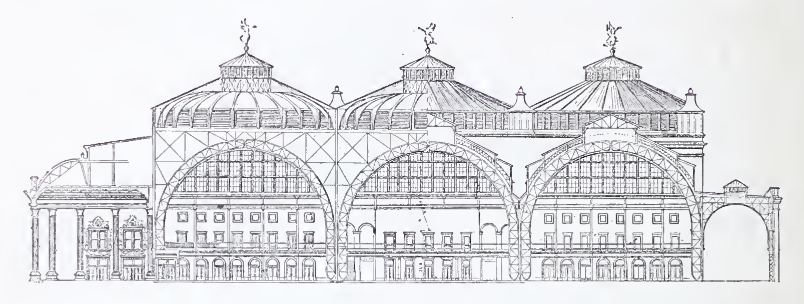


Fig. 233. — Exposition de Chicago. — Palais des machines. (Coupe transversale.)

au milieu par un transept de même largeur. Le comble de ce transept est formé des trois dômes vus dans la figure 233.

Les fermes des galeries sont en acier; elles sont demi-circulaires et leurs pieds-droits verticaux reposent sur des pivots à leur extrémité inférieure; au sommet, les deux moitiés des fermes sont arc-boutées sur un tourillon. A chaque angle du palais se trouve un pavillon d'entrée surmonté d'un dôme, et au milieu des façades nord et est se dressent deux portiques flanqués de tours de 60 mètres de haut.

Palais de l'électricité. — L'espace qu'il occupe mesure 103 sur 213 mètres; il comprend une nef longitudinale de 35 mètres de largeur et de 35 mètres de hauteur, traversée au milieu par un transept de mêmes dimensions. La figure 234, qui est une coupe transversale de la moitié du palais, montre le type de ferme adopté.

Le reste du palais est occupé par une série de galeries avec étage et est recouvert par un comble plat.

Palais des mines. — Il occupe une surface rectangulaire de 213 mètres sur 107 mètres. La figure 235 donne une coupe en travers du palais.

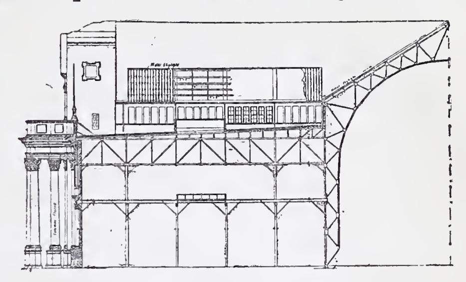


Fig. 234.
Exposition de Chicago. — Palais de l'électricité.
(Demi-coupe transversale.)

La hauteur maxima du comble est de 33 mètres; la hauteur sur les côtés de 15 mètres. Ce qui caractérise cette construction, c'est que le comble est formé de fermes en acier disposées en cantilever; les colonnes de support sont en acier, placées à des distances transversales de 35 et de 17 mètres; la première, donnant la largeur de la baie centrale et la deuxième la largeur des côtés. Les cantilevers du comble sont formés avec des assemblages à goupilles pour faciliter le montage. Les fermes sont espacées de 20 mètres et cet espacement a nécessité l'emploi de pannes importantes en poutres à treillis.

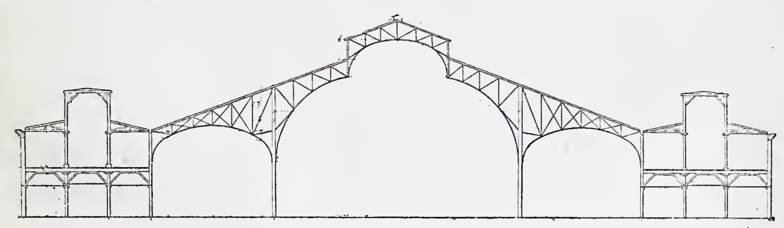


Fig. 235. — Exposition de Chicago. — Palais des mines.
(Coupe transversale.)

Palais de l'agriculture. — Le palais a 424 mètres de long sur 152 mètres de large; sur le derrière se trouve une annexe de 91 mètres sur 152 mètres. Il comprend deux galeries centrales, chacune de 29 mètres de large; elles se coupent l'une l'autre au centre du palais.

On voit dans la figure 236 la disposition des fermes, qui ont 25 mètres de hauteur.

Un dôme de 33 mètres de diamètre et de 40 mètres de hau-

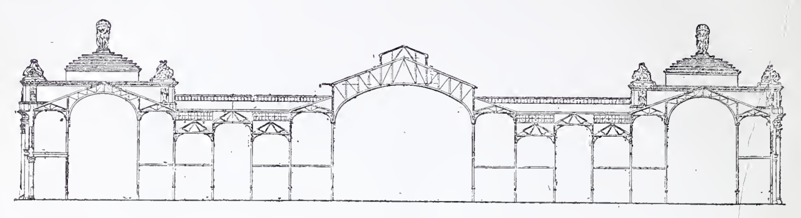


Fig. 236. — Exposition de Chicago. — Palais de l'agriculture. (Coupe transversale.)

teur forme entrée. Les deux galeries sont assez importantes et leur intersection produit un bel effet. Mais le reste de l'espace n'est pas aussi heureusement distribué entre les nombreuses et petites tra-

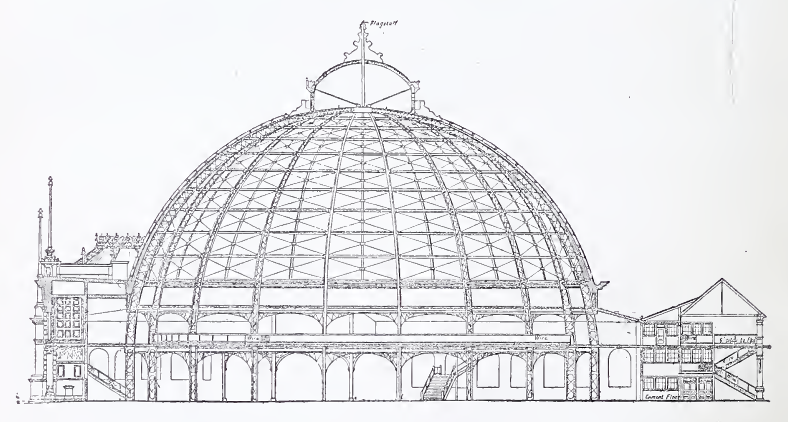


Fig. 237. — Exposition de Chicago. — Palais de l'horticulture. (Coupe du dôme.)

vées qui occupent cet espace. Le palais est une construction mixte, la charpente étant faite en bois et fer.

Le dôme central est porté sur une double rangée de colonnes en bois, hautes de 21 mètres. L'ossature du dôme est en fer.

Palais du transport. — La travée centrale, une des trois qui

composent le palais, a une largeur de 33 mètres, les deux autres n'ayant que 24 mètres. Le comble offre un exemple intéressant de construction mixte en bois et en fer.

Palais du Gouvernement des États-Unis. — Dans ce palais se présentent différents types de combles, les uns droits, les autres courbes, ces derniers d'une hauteur moindre que les premiers.

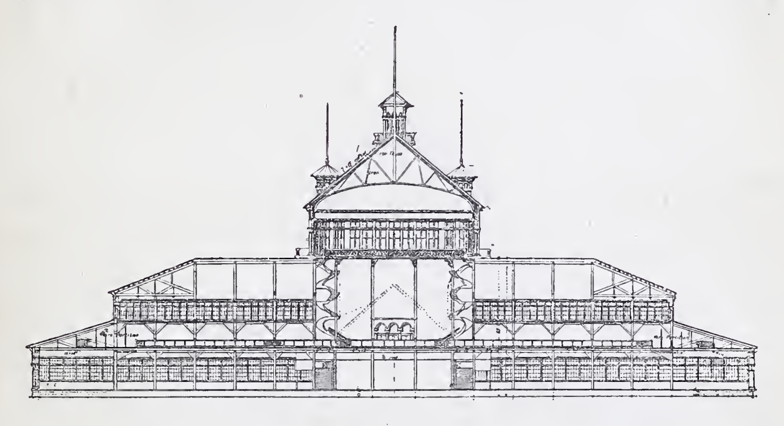


Fig. 238. — Exposition de Chicago. — Palais des pêcheries. (Coupe longitudinale.)

Tous sont en fer ou en acier. Les combles sont portés par des colonnes *Phœnix*.

Le palais comprend un dôme central de 37 mètres de diamètre, en acier.

Palais de l'horticulture. — Il a 305 mètres de long sur 76 de large. La partie principale est le dôme central (fig. 237), de 57 mètres de diamètre et de 34 mètres de hauteur, formé de vingt fermes en treillis à peu près demi-circulaires et convergeant vers une couronne centrale sur laquelle elles sont rivées. Un système de pannes circulaires d'entretoisement, s'étendant sur toute la surface du dôme, et de chevrons complètent son ossature.

Au niveau de la galerie, située autour du dôme, les fermes sont réunies par des poutres courbes et une seconde série de ces

poutres se trouve à 5 mètres au-dessus. La figure 237 montre les dispositions générales du dôme.

Palais des pêcheries. — La longueur du palais principal est de 111 mètres et sa largeur de 50 mètres, portée à 61 mètres par les vestibules. Deux annexes sont réunies au palais, de chaque côté, par des arcades. La figure 238 donne la coupe longitudinale du bâtiment principal qui comprend un dôme central. Ce dôme a un

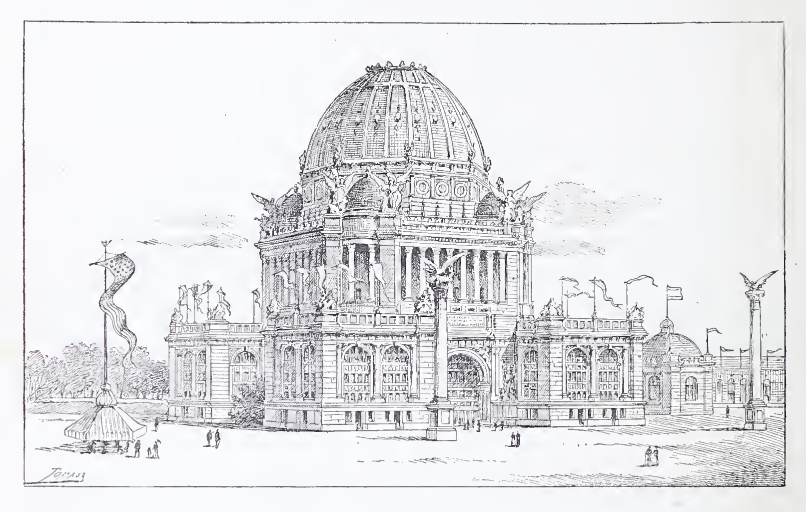


Fig. 239. — Exposition de Chicago. — Palais de l'administration.

diamètre de 24 mètres et une hauteur de 46 mètres, mesurée au sommet de la lanterne. Il est à douze pans et est édifié à l'intersection de bas-côtés de 24 mètres et d'une galerie transversale de même largeur; il est supporté par des colonnes et est flanqué de quatre petites tours placées à sa périphérie.

Les annexes circulaires comprennent chacune une rotonde de 18 mètres de diamètre et de 21 mètres de hauteur contre laquelle se trouve un appentis de 11 mètres de large et de 10 mètres de haut.

Palais de l'administration. — Le palais de l'Administration

comprend un dôme central flanqué de quatre pavillons (fig. 239). Le dôme a un diamètre de 36 mètres; il est surmonté d'une coupole métallique octogonale et sa hauteur totale est de 75 mètres.

CHAPITRE III

Édifices religieux.

Si nous en jugeons par les palais qui ont été construits à l'Exposition de 1889, nous pensons que l'emploi de la construction métallique peut permettre de réaliser des édifices présentant l'aspect grandiose et monumental qui convient aux édifices religieux. Depuis longtemps déjà le système des voûtes à ossature métallique avait été adopté et s'était rapidement affirmé en architecture par de nombreux exemples. Telles sont à Paris les églises Saint-Eugène, Saint-Augustin et de la Trinité, les plus anciennes et par suite les plus intéressantes de ce genre. D'autres constructions analogues sont à citer en France; mais c'est principalement dans les pays sujets aux tremblements de terre que l'emploi du métal est rationnel pour la constitution des édifices religieux; nous nous bornerons à citer parmi les églises construites récemment l'exemple de la cathédrale de Tacna, au Pérou.

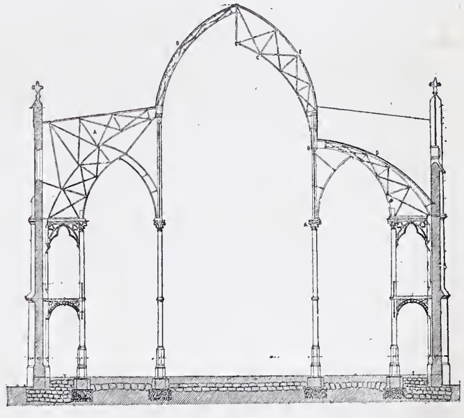


Fig. 240. — Église Saint-Eugène, à Paris. (Coupe.)

Église Saint-Eugène, à Paris (1855). — C'est un des premiers exemples de l'emploi du fer et de la fonte dans les édifices religieux. Le style général de l'église est ogival et s'inspire de l'art chrétien des XIIIe et XIVe siècles, approprié aux ressources industrielles de l'époque (architecte : M. Boileau) (fig. 240).

La longueur totale de l'édifice est de 50 mètres sur 25 mètres de largeur intérieure, dont 10 mètres pour la nef principale et le reste partagé entre deux nefs latérales de 5 mètres et deux bas-côtés de $2^m,50$. La hauteur de la nef principale est de 23 mètres et celle des nefs latérales de 15 mètres.

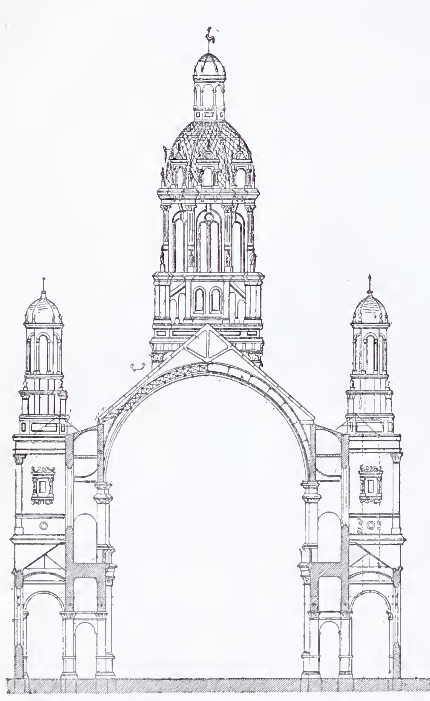


Fig. 241. — Église de la Trinité, à Paris. (Coupe transversale.)

Les murs sont seuls en maçonnerie; les grandes colonnes de la nef sont en fonte creuse; les arcs et les galeries des tribunes, ainsi que les garnitures des cinquante-quatre ouvertures, tant rosaces que fenêtres, sont également en fonte; les fermes longitudinales, les fermes transversales et diagonales formant les arcs doubleaux, les formerets et les nervures de la grande nef sont en fer.

Église de la Trinité, à Paris (1868). — Cette église, construite par M. Ballu, architecte, procède à l'intérieur, comme composition générale, de l'architecture lombarde et rappelle en même temps les grandes lignes des églises romanes. Elle présente un développement longitudinal de $91^m,175$ sur une largeur totale de $33^m,40$.

Cette longueur de 91^{m},175 se divise en trois parties très distinctes savoir : le porche, la grande nef et la chapelle de la Vierge.

La chapelle de la Vierge, les cages d'escalier, les sacristies et les bas-côtés ont tous leurs combles en fer, entièrement détachés les uns des autres. La grande nef est couverte d'un comble cintré en fer, qui lui-même en porte un second à deux pentes, recevant

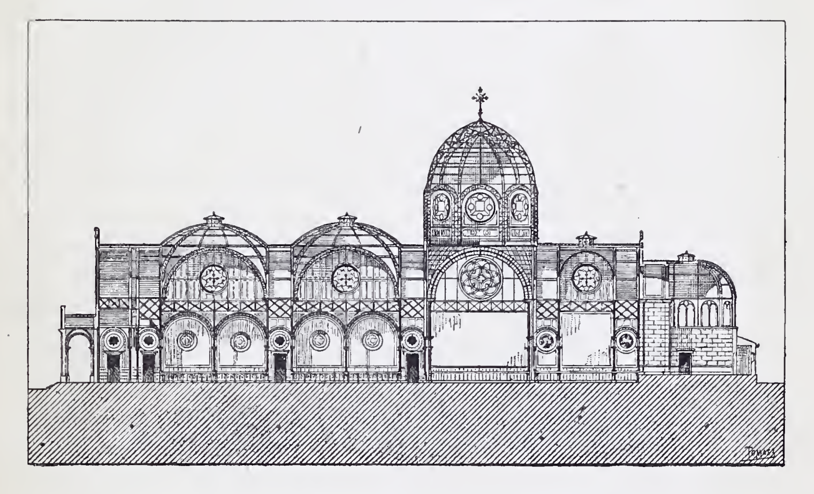


Fig. 242. — Cathédrale de Tacna. (Coupe longitudinale.)

le chevronnage, le lattis en bois et les ardoises. Le comble cintré est composé de neuf fermes de 17 mètres d'ouverture à la base et de 9 mètres de hauteur sous clef (fig. 241).

Église Saint-Augustin. — Elle date de la même époque que la précédente et a été construite sur les plans du même architecte.

Cathédrale de Tacna. — La cathédrale de Tacna (Pérou) (fig. 242) comprend une nef centrale de 78 mètres de longueur et de 18 mètres de largeur avec deux bas-côtés. A la croisée du transept qui a 32 mètres de longueur, s'élève un dôme de 37 mètres de hauteur. En avant de ce dôme et dans la partie de la nef opposée à l'abside se trouvent des dômes moins élevés que le premier et pour-

vus de lanternes destinées à assurer une aération importante en raison du climat du pays. L'exécution entièrement métallique de l'église est digne de remarque. Les murs sont tous en pans de fer; les supports et les piliers en fonte artistement ornée. Les deux coupoles sont en arc surbaissé; leurs éléments en fer sont supportés par des voussures métalliques en plein cintre. Le dôme central est supporté par quatre voussures métalliques également en plein cintre; les fers du dôme sont des arcs en ogive. L'ensemble des diverses pièces métalliques qui entrent dans la construction de la cathédrale représente un poids de 700 tonnes. (Moisant, Laurent, Savey et C[ie].)

CHAPITRE IV

Gares de chemins de fer.

Les grandes fermes métalliques qui ont trouvé de si remarquables applications dans les expositions universelles en Europe et en Amérique, sont entrées, depuis plusieurs années déjà, dans la pratique des constructions des gares.

Dans les gares on recherche, en effet, les combles de grande ouverture qui sont incontestablement les plus favorables au point de vue du service. Ils donnent à l'espace couvert une clarté et un caractère grandiose bien supérieurs à ceux que réalisent les combles d'ouverture réduite; ils permettent de diminuer le nombre des appuis qui constituent, quoi que l'on fasse, une gêne permanente pour la circulation des voyageurs et des bagages, et créent les plus grandes difficultés le jour où les besoins du service nécessitent des remaniements des voies et des quais.

Nous citerons parmi les plus intéressantes : à Paris, la gare d'Orléans, un des premiers exemples de ce genre, et la gare Saint-Lazare construite récemment.

En Angleterre, la station de Saint-Pancrace, à Londres, est à remarquer. A Jersey-City, en Amérique, existe une gare dont les fermes ont une portée plus grande que celles des fermes du Midland. Les Américains viennent de dépasser, dans la construction de la gare de Philadelphie-Reading, les dimensions de Jersey-City. Après les fermes des palais des expositions de Paris et de Chicago, celles de la gare de Philadelphie sont les plus grandes qu'il y ait au monde.

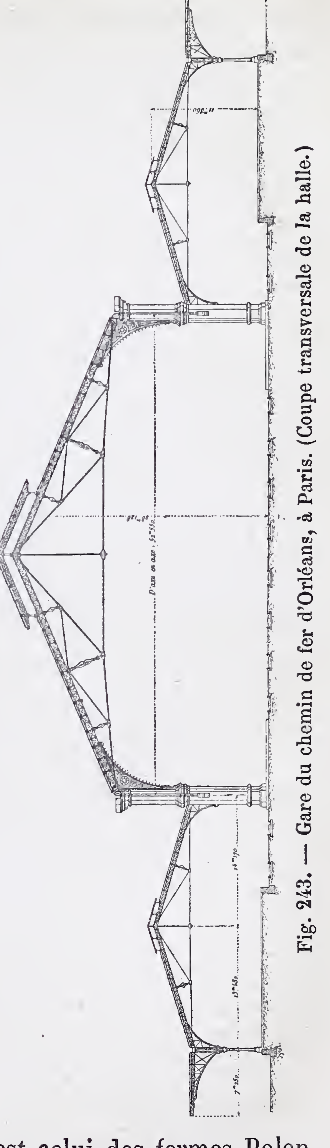


Fig. 243. — Gare du chemin de fer d'Orléans, à Paris. (Coupe transversale de la halle.)

Halle des voyageurs à la gare du chemin de fer d'Orléans, à Paris (1869). — La grande halle de la gare d'Orléans, qui est la partie caractéristique de cette gare était, au moment de sa construction, la plus grande halle couverte, comme partie libre, qui existât en France. Elle a, en effet, 51^{m},25 de portée libre et la grande nef du Palais de l'Industrie n'a que 48 mètres; la grande halle de Saint-Germain à la gare Saint-Lazare n'avait que 40 mètres; la gare du Nord n'a que 35 mètres de portée entre les colonnes en fonte qui la soulagent aux deux tiers. Les dimensions générales de la nef sont les suivantes : largeur libre 50^{m},450; longueur totale 280 mètres; hauteur à la naissance des fermes 16 mètres; hauteur totale du rail au faîtage 28 mètres. Le système adopté est celui des fermes Polon-

ceau à arbalétriers droits, avec trois bielles ou contre-fiches. Les arbalétriers sont des poutres en treillis. L'espacement des fermes est de 10 mètres d'axe en axe. Les pannes sont des poutres à treillis. La semelle inférieure est arquée pour offrir plus de résistance.

Aux naissances, les arbalétriers sont raccordés aux pilastres de la maçonnerie par des consoles en fonte d'ornement, d'un dessin riche. Les retombées des arbalétriers ont lieu sur des plaques de friction formant glissières, pour que les fermes puissent librement se dilater sans produire d'efforts sur les piliers.

Le poids total des fers, fontes et tôles entrant dans la construction des combles est de 1,370,000 kilogrammes (Le Creusot).

Gare Saint-Lazare, à Paris. — En 1887, la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest a élevé de nouvelles halles qui, raccordées avec les anciennes, couvrent actuellement une surface d'environ 33,400 mètres carrés (fig. 244). Le problème de l'agrandissement de ces halles ne laissait pas que d'être très délicat en raison du programme que l'on s'était fixé de conserver les anciennes halles, dont les ouvertures et la hauteur, d'ailleurs inégales, étaient relativement restreintes, et d'adopter pour les nouvelles des dimensions plus grandioses. La solution a été heureuse, et la façade du côté des voies présente un aspect de symétrie et de régularité aussi satisfaisant que possible.

Les conditions locales ont conduit à donner à l'ensemble des halles une longueur qui varie de 120 à 165 mètres, et aux fermes de tête des halles qui sont au nombre de cinq et présentent sur le même alignement un développement d'environ 200 mètres, les ouvertures suivantes : une ouverture de $17^{m},50$ au milieu ; une de $36^{m},50$ et une de $42^{m},50$ de chaque côté ; enfin, une ouverture de $47^{m},50$ et une de 50 mètres aux deux extrémités. Une autre halle couvre la cour d'arrivée des grandes lignes et a une ouverture de $19^{m},60$.

Les anciennes halles de la gare Saint-Lazare sont du système Polonceau, articulé, à une ou trois bielles en fonte pour chaque arbalétrier, sauf un comble de 40 mètres de portée construit

en 1853, qui a été l'un des premiers du système Polonceau avec

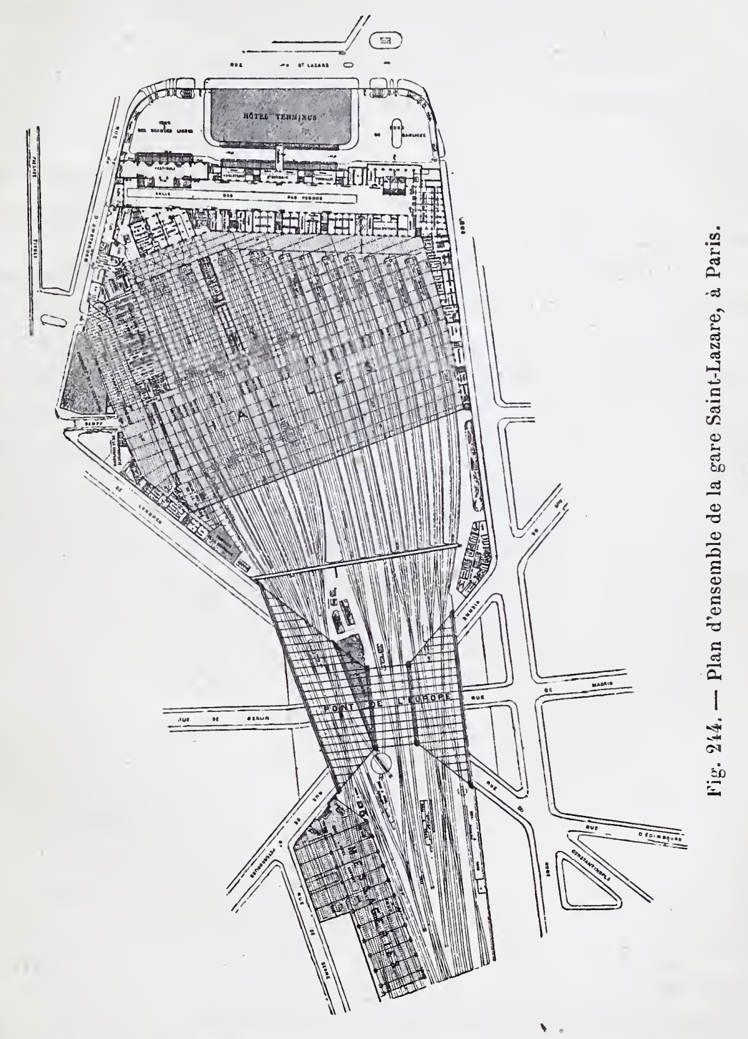


Fig. 244. — Plan d'ensemble de la gare Saint-Lazare, à Paris.

fermes rigides entièrement composées de fers laminés et rivés, sans articulation d'aucune sorte. Ce système, qui, depuis, a reçu

de très nombreuses applications, présente une plus grande sécurité d'exécution et réalise une économie sur le système des fermes articulées. Aussi l'a-t-on adopté pour les nouvelles halles. On n'a employé qu'une seule bielle au lieu de trois par arbalétrier. Cette disposition, outre l'avantage qu'elle offre au point de vue d'une meilleure répartition des efforts de traction, donne à la charpente un aspect de légèreté plus satisfaisant. La figure 245 montre la disposition d'une ferme du grand comble qui a une hauteur d'environ 23 mètres.

Ce comble présente une particularité : il n'a pas une ouverture uniforme dans toute sa longueur. Cet intervalle variable qui, de 50 mètres, à la ferme de tête, atteint 54^{m},61 à l'autre extrémité, a conduit à des ouvertures différentes pour chacune des fermes. Pour éviter dans la couverture les surfaces gauches, vu la pente du faîtage, on n'a pas fait porter ces variations sur les arbalétriers, on leur a donné à tous la même longueur et on a constitué le sommet des fermes par des parties horizontales dont la longueur variable compense les différences d'ouverture signalées. Ces parties horizontales sont couvertes par un lanterneau formant terrasson.

La tête des halles est fermée au moyen d'un grand rideau vitré dont la décoration, semblable pour chacune des halles, rend aussi peu apparentes que possible les différences d'ouverture de celles-ci. Ce rideau vitré est porté par une ferme de tête en tôle spéciale présentant les dispositions suivantes en ce qui concerne le grand comble :

Une poutre verticale à treillis, cintrée à la partie inférieure, reçoit des montants verticaux qui, se reliant aux arbalétriers, sont destinés à lui transmettre outre la charge de la ferme, l'effort dû à la pression du vent. La résistance à la pression du vent est de plus assurée par une poutre rigide à croisillons ; cette poutre, placée horizontalement dans le plan même de la semelle supérieure de la poutre verticale sur laquelle elle vient s'assembler, s'appuie sur les colonnes de la dernière ferme courante et est reliée de distance en distance aux montants verticaux de la ferme de tête par des

contre-fiches obliques. Enfin des consoles complètent la solidité des deux poutres horizontales et verticales. Le tout est disposé de telle sorte que le transparent du vitrage n'est nullement affaibli.

Les différents combles sont supportés par des colonnes en tôle en forme de caisson, solidement assemblées avec les fermes par l'intermédiaire de consoles également en tôle. La fonte n'est employée que pour former les soubassements qui ornent la base des colonnes.

Une tourelle, élevée à l'extrémité de la tête des halles, permet d'accéder aux toits des combles pour les réparations.

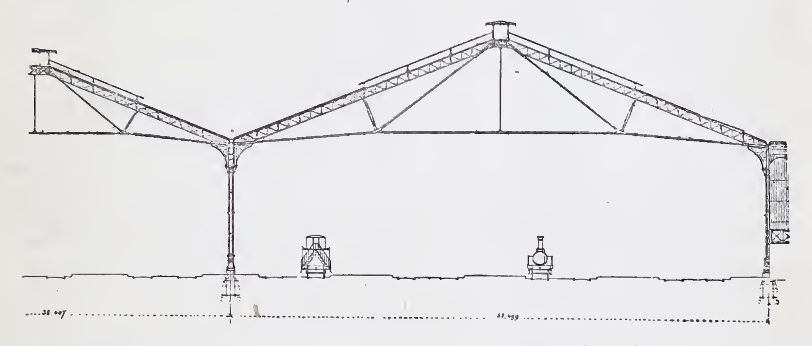


Fig. 245. — Halles de la gare Saint-Lazare, à Paris.
(Coupe transversale partielle.)

Le montage s'est fait au moyen d'échafaudages roulants sur des galets et pouvant se déplacer sur des rails. Sous chaque échafaudage était ménagé l'espace nécessaire et variant d'une halle à l'autre, pour le passage des voies et des quais sur lesquels le service a été maintenu. On conçoit combien les sujétions de l'exploitation ont dû rendre difficile le montage des halles au milieu d'une gare où le mouvement des voyageurs et des trains est si intense. Ajoutons que, grâce aux dispositions prises, ce mouvement n'a pas été entravé un seul instant. (M. Marin, Directeur de la Compagnie de l'Ouest; M. Clerc, directeur des travaux; M. Morlière, ingénieur en chef. — Constructeur : Maison Joly.)

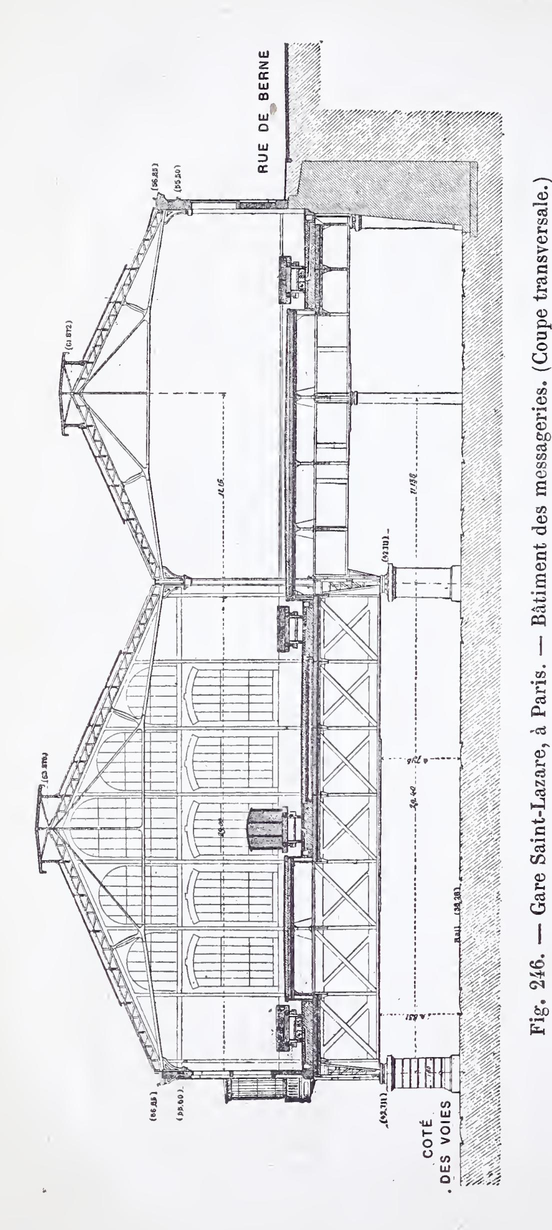


Fig. 246. — Gare Saint-Lazare, à Paris. — Bâtiment des messageries. (Coupe transversale.)

Ne quittons pas la gare Saint-Lazare sans décrire l'intéressante halle des messageries de la rue Saint-Pétersbourg, qui tient à la fois du pont et de la halle.

Dans les transformations exécutées à la gare Saint-Lazare, à Paris, en 1887, le service des messageries a été installé au niveau de la place de l'Europe, à l'angle des rues de Saint-Pétersbourg et de Berne.

Le service du public se fait sur une plate-forme métallique couverte reposant sur des piles en maçonnerie et des colonnes en fer. Les wagons sont amenés au-dessous de cette plate-forme et élevés ensuite à son niveau au moyen de monte-wagons hydrauliques.

La plate-forme, établie au niveau des voies publiques, a une

surface d'environ 5,000 mètres carrés et est disposée ainsi que l'indique la figure 244. La charpente métallique supportant cette plate-forme se compose essentiellement (fig. 246), en dehors de la partie triangulaire en façade sur la rue de Saint-Pétersbourg, d'un premier cours de travées, du côté des voies, reposant sur des piles en maçonnerie, ayant $29^{m},40$ de portée et régnant sur 108 mètres de longueur. Un deuxième cours de travées, du côté de la rue de Berne, correspond à la partie la plus large de la plate-forme ; les poutres supportant cette partie qui a $22^{m},50$ de largeur, reposent à l'une de leurs extrémités sur les piles en maçonnerie qui reçoivent déjà les travées situées du côté des voies et à leur autre extrémité sur le mur de soutènement construit le long de la rue de Berne ; de plus, dans le milieu de leur largeur, elles sont supportées par un rang de colonnes en fer.

Les poutres principales, distantes entre elles de $10^{m},25$, sont reliées par des poutrelles espacées de 4 mètres en 4 mètres et enfin ces poutrelles sont réunies par des entretoises espacées de $1^{m},46$, recevant les voûtes en briques qui portent les chaussées et divers ouvrages établis sur la plate-forme (fig. 247).

La nécessité où l'on s'est trouvé

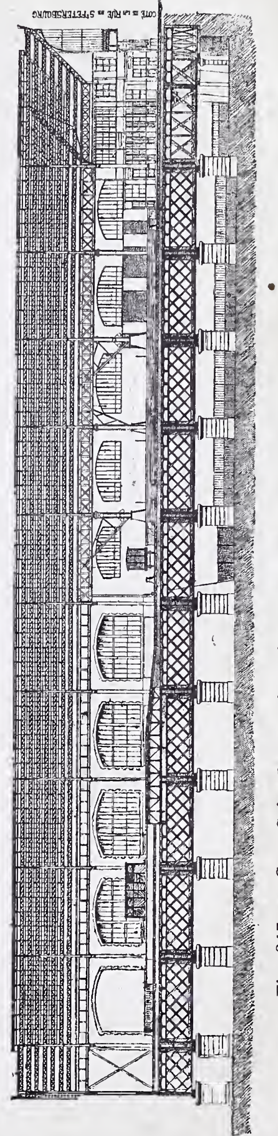


Fig. 247. — Gare Saint-Lazare, à Paris. — Bâtiment des messageries. (Coupe longitudinale.)

de placer sous les chaussées des conduites pour l'eau comprimée, d'établir des plaques tournantes et autres appareils occupant une certaine hauteur entre le dessus des chaussées et le dessous des voûtes en briques, a conduit à ménager une épaisseur libre de $0^m,70$ au-dessus de ces voûtes. Toutefois, afin de réduire autant que possible les surcharges permanentes, cette épaisseur, sur environ $0^m,50$, a été remplie avec du mâchefer dont le poids est relativement faible et les parties correspondantes aux quais, rampes, etc., ont été évidées.

Au-dessus de la plate-forme dont nous venons d'indiquer les dispositions d'ensemble, règne une couverture générale composée de fermes correspondant aux travées du dessous, savoir : un premier cours de fermes de $29^m,40$ de portée, régnant sur toute la longueur du côté des voies; un second cours de fermes de $22^m,50$ de portée régnant dans la partie élargie en façade sur la rue de Berne (fig. 246).

Le travail du fer, sous les surcharges permanentes et accidentelles, est compris entre 6 et 7 kilogrammes par millimètre carré, travail très modéré pour des constructions de ce genre, qui ne sont pas, comme les ouvrages placés sous les voies de circulation, soumises aux chocs et ébranlements résultant du passage des trains.

Les dispositions de la plate-forme sont telles qu'elle pourra dans l'avenir être étendue autant que l'exigeront les besoins du service.

Gare Saint-Pancrace, à Londres (1866). — Les fermes n'ont pas en apparence de points d'appui intermédiaires ; en réalité on a relié les pieds-droits par des tirants cachés sous le plancher. La portée des arcs est de 73 mètres (fig. 248).

C'est la plus grande portée de ce genre qui existât, à notre connaissance, avant la Galerie des machines de l'Exposition de 1889. La longueur du comble est de $210^m,25$ et sa hauteur sous clef de $30^m,47$. Il est composé de vingt-cinq fermes, dont chacune est formée de deux arcs se rencontrant à la clef sous un angle obtus.

Chaque arc est constitué par une poutre tubulaire de $1^m,83$ de hauteur uniforme, en treillis, sauf sur une hauteur d'environ $8^m,50$ à partir du pied où la poutre est pleine. Les extrémités inférieures des fermes sont fixées sur des caissons plats reliés aux piliers en maçonnerie. Ce sont ces caissons qui sont réunis par les tirants dont nous venons de parler.

Les fermes sont reliées par des cours de pannes en treillis

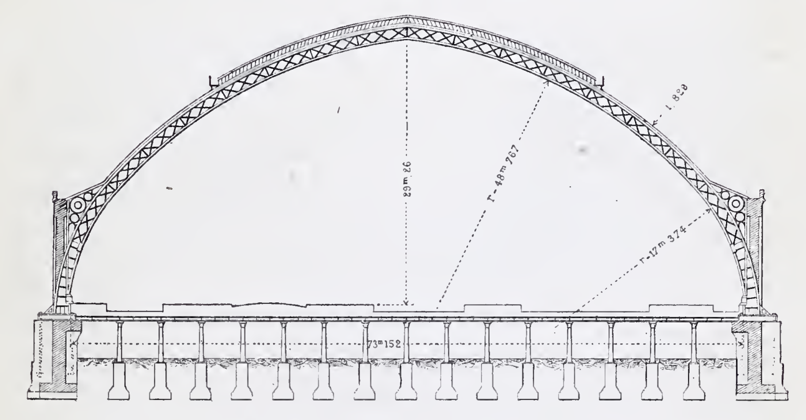


Fig. 248. — Gare de Saint-Pancrace, à Londres. (Coupe transversale.)

contreventées par des diagonales qui s'étendent sur deux travées.

Le poids d'une ferme est de 54 tonnes.

Gare centrale de Rome (1871). — La halle des voyageurs présente une portée de $42^m,16$ et est couverte sur une longueur de $179^m,34$ (fig. 249).

La charpente se compose de dix-sept fermes semblables placées au droit des pilastres des bâtiments latéraux et d'une ferme de tête formant masque vitré, reliées entre elles par treize cours de pannes sur lesquels sont fixés les chevrons de la couverture en ardoises métalliques.

Trois lanterneaux vitrés sont disposés sur la longueur de la halle pour en assurer l'aérage et l'éclairage.

Les fermes courantes sont espacées de 10 mètres.

Chaque ferme est formée de deux membrures cintrées suivant des rayons différents : la membrure supérieure est constituée par deux arcs qui viennent se couper au milieu de la ferme, et donnent ainsi à l'arc d'extrados la forme d'ogive surbaissée ; la membrure inférieure est formée d'un arc continu beaucoup plus surbaissé que l'arc d'extrados. Les deux membrures sont reliées entre elles par des montants verticaux les divisant en douze pan-

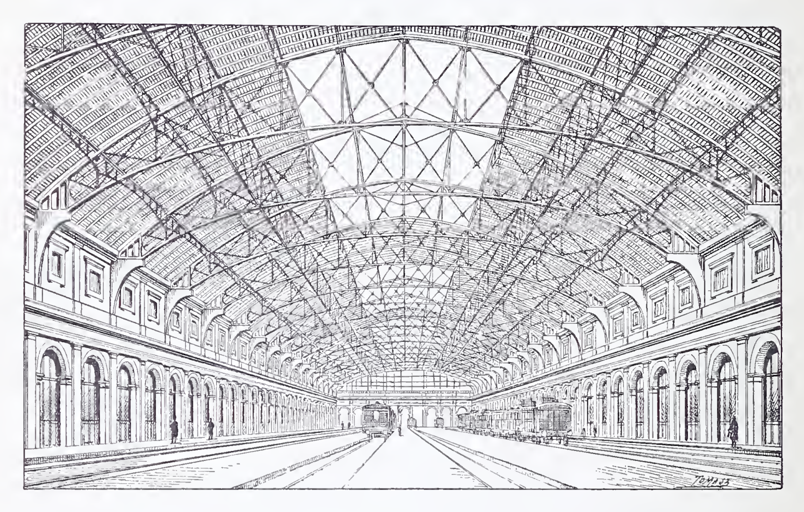


Fig. 249. — Gare centrale de Rome.

neaux égaux et par des croix de Saint-André en cornières. Aux retombées, les croix sont remplacées par une âme pleine partielle.

Les pannes courantes sont formées de deux membrures en cornières reliées par des montants en fer plat ; la membrure supérieure est horizontale et la membrure inférieure est cintrée. (Société des Ponts et Travaux en fer.)

Gare centrale de Glasgow (1878). — Le comble a une longueur de 152 mètres, l'ouverture entre les murs est de $64^{m},31$ et la hauteur libre sous poutre de $9^{m},15$. Il est formé d'une série de petites fermes de $5^{m},486$ d'ouverture s'appuyant sur des poutres

droites transversales de $64^m,31$ de portée, sans appui intermédiaire (fig. 250).

Les poutres ont $6^m,096$ de hauteur et sont formées de deux semelles rectilignes réunies par des montants, des tirants et des

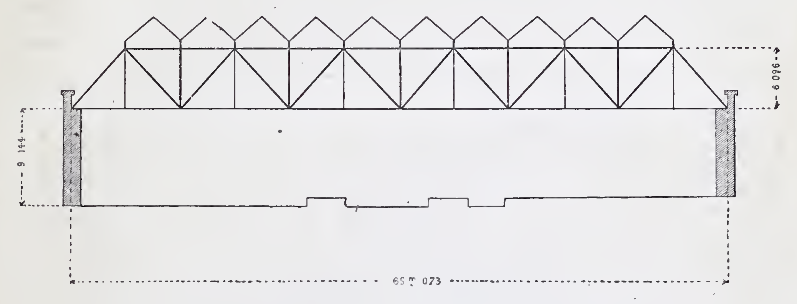


Fig. 250. — Gare centrale de Glasgow. (Coupe transversale.)

écharpes ; leur espacement est de $10^m,67$. Elles sont entretoisées par des sablières qui servent d'appui aux arbalétriers des p-tites fermes.

Gare centrale des voyageurs de Saint-Louis (États-Unis). — Le bâtiment a une largeur totale de $183^m,50$ entre axes des colonnes extrêmes et une longueur de $213^m,50$. La couverture est faite d'un seul arc qui embrasse la portée entière de $183^m,50$, mais qui est sous-tendu entre les supports intermédiaires au nombre de quatre, par des arcs de courbure inverse (fig. 251). La hauteur, au milieu de l'arc supérieur, est de 23 mètres environ. Le bâtiment est éclairé par des lanterneaux et des baies latérales.

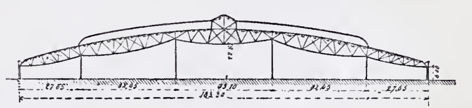


Fig. 251.
Gare centrale de Saint-Louis, États-Unis.
(Coupe transversale.)

Gare de Jersey-City (Amérique). — La portée des fermes est de $76^m,88$; leur hauteur sous clef de $26^m,20$ et leur longueur extérieure de $198^m,80$; elles sont au nombre de douze.

Chaque élément de semelle est droit, de sorte que l'ensemble

reproduit un polygone se rapprochant plus ou moins de l'arc que l'on s'est proposé de tracer, mais sans le reproduire exactement. Au point de vue de l'exécution, cette solution est plus commode.

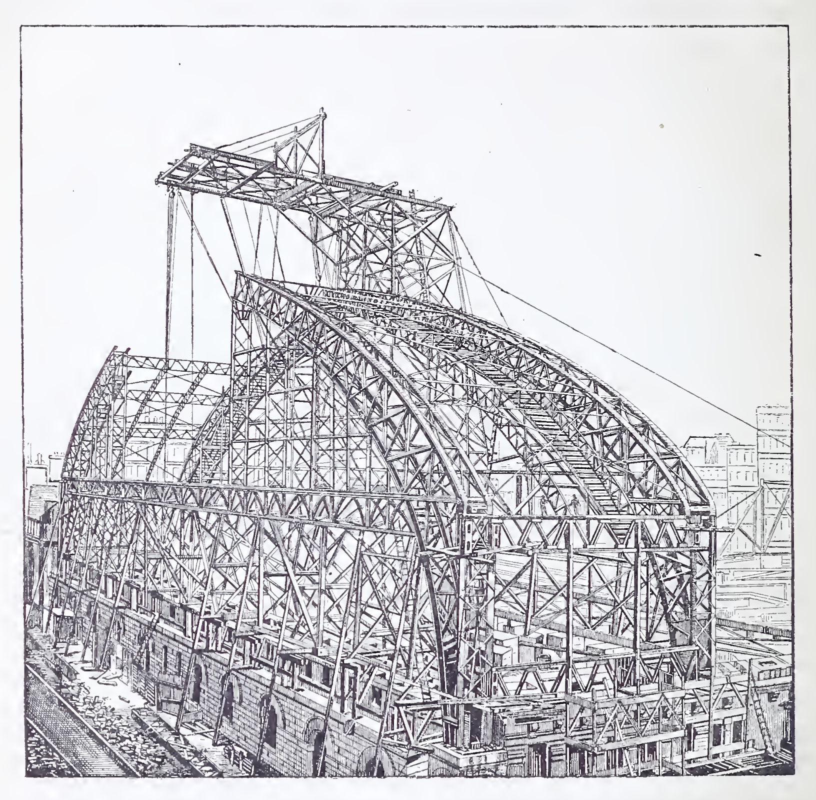


Fig. 252. — Gare de Philadelphie-Reading. (Vue pendant le montage.)

Gare terminus de la ligne de Philadelphie-Reading, à Philadelphie[1]. — Le principal intérêt de cette gare, au point de vue technique, réside dans sa charpente métallique. Ses dimensions sont en longueur de $154^m,40$, en largeur de 81 mètres, en hauteur sous

1. *Génie civil. — Engineering news.*

clef de 29 mètres; enfin, la portée des arcs qui forment l'ossature de la charpente est de 78m,92. Les fermes sont au nombre de onze. Chacune d'elles est formée de deux arcs articulés à la partie supérieure et à la retombée ; le jeu nécessaire pour les dilatations est obtenu sur une seule des culées au moyen de rouleaux. Chacun des arcs est formé de deux poutres courbes parallèles placées à 1m,50 environ l'une de l'autre et reliées entre elles par un double treillis (fig. 252).

Chaque ferme est munie d'un tirant passant sous les voies et formé d'une barre dont les extrémités, percées en forme d'œillet, embrassent les axes d'articulation des retombées.

A angle droit avec les pannes, et rivés avec elles, se trouvent des chevrons, au nombre de deux, dans chaque intervalle

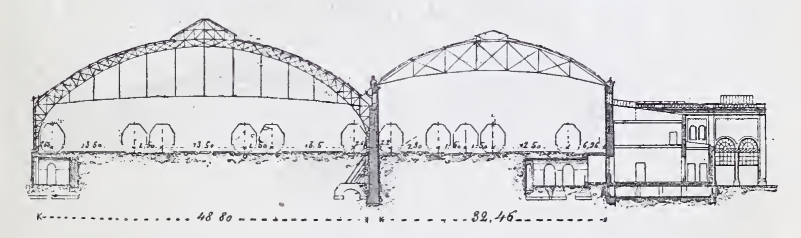


Fig. 253. — Gare de Schlesischer. (Coupe transversale.)

séparant deux fermes. Ce sont aussi des poutres métalliques courbes ; ils s'assemblent à la sablière et sont articulés aux faîtes et aux retombées comme les arcs principaux. L'ensemble de la construction ne comprend que du fer et de la fonte, cette dernière en très petite quantité.

Station centrale de Munich. — La halle vitrée, sous laquelle stationnent les trains, possède quatre combles en fer qui reposent sur les murs, ainsi que sur trois séries de colonnes métalliques. L'extrémité ouest est ouverte jusqu'à une hauteur de 7m,20 environ, et l'espace compris depuis cette cote jusqu'au toit forme une paroi vitrée.

La largeur totale de la halle est de 138 mètres.

Gares du Métropolitain de Berlin. — Nous allons donner quelques détails sur deux gares du Métropolitain de Berlin.

Gare de Schlesischer. — La figure 253 donne la coupe transversale des halles qui sont au nombre de deux, savoir : une grande halle recouverte d'une toiture en arc de cercle, de $44^m,80$ de portée, formée de poutres en treillis, et dont la hauteur

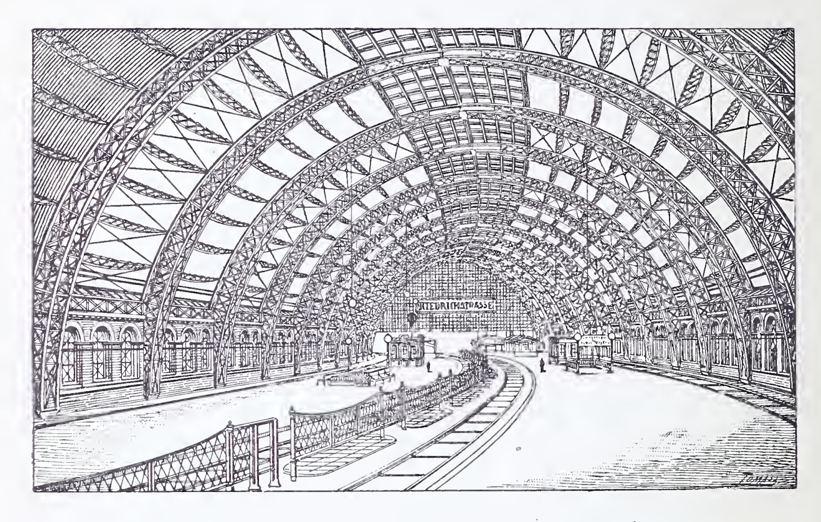


Fig. 254. — Gare de la rue Frédéric, à Berlin. (Vue intérieure.)

sous clef est de 17 mètres; et une halle contiguë à la première de $30^m,15$ de largeur, et de 17 mètres également de hauteur.

Gare de la rue Frédéric. — Cette gare comprend une grande halle de 69 mètres de largeur et de $147^m,60$ de longueur. La figure 254 donne la vue perspective de l'intérieur et montre le mode de construction de la charpente métallique.

Avant de quitter les chemins de fer, nous citerons encore l'emploi des grandes charpentes métalliques pour la construction des rotondes servant au remisage des machines dans les dépôts.

Parmi les plus vastes se trouvent les rotondes de 70 mètres

de diamètre de la Compagnie de l'Est, et celle de 90 mètres de la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée.

Rotondes de 70 mètres de diamètre de la Compagnie de l'Est. — L'ossature métallique est indépendante des murs d'enceinte. Elle est formée de seize demi-fermes en arc, articulées au niveau du sol, qui s'appuient à leur partie supérieure sur une couronne rigide de $3^m,20$ de diamètre (fig. 255). La portée d'axe en axe des rotules est de $70^m,30$; la hauteur du comble est de $25^m,70$. Les demi-fermes sont à caisson et sont reliées transversalement par un cours de sablières et par cinq cours de pannes.

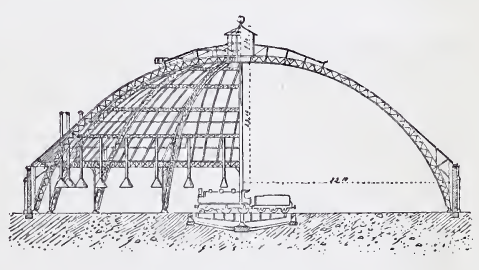


Fig. 255. — Rotonde pour locomotives des chemins de fer de l'Est. (Demi-élévation et demi-coupe.)

Les parties inférieures des fermes sont surmontées d'un tympan en treillis, raccordant le sommet du mur avec la toiture.

Un lanterneau vitré de 28 mètres de diamètre sert à l'éclairage et à la ventilation.

Le prix de revient, non compris les aménagements intérieurs, est de 274,000 francs.

Rotondes de 90 mètres des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée. — L'ensemble de la construction se compose d'une coupole centrale de 50 mètres de diamètre reposant sur dix-huit colonnes en fonte, et d'une partie annulaire de 20 mètres de largeur, supportée à l'extérieur par un mur et à l'intérieur par les mêmes colonnes que la coupole (fig. 256).

Les colonnes sont reliées entre elles par des entretoises formant une ceinture continue. Les fermes de la coupole en arcs sont formées d'un treillis et ont $0^m,80$ de hauteur à la retombée et $0^m,30$ à la partie supérieure. Chaque ferme repose sur une console venue de fonte avec la colonne et s'appuie verticalement sur un

sabot en fonte, boulonné au gousset des entretoises. A la partie supérieure, elle s'appuie sur une couronne de 6 mètres de diamètre qui supporte aussi la lanterne.

Les fermes sont entretoisées par quatorze cours de pannes et contreventées par six cours de barres disposées en hélice.

Les fermes de la partie annulaire sont du genre Polonceau, avec assemblages rigides entre les tirants, l'arbalétrier et les contre-fiches. Elles reposent sur le mur au moyen d'un chariot de dilatation.

Fig. 256. — Rotonde de 90 mètres pour machines, Paris-Lyon-Méditerranée. (Demi-coupe verticale.)

CHAPITRE V

Constructions diverses.

En dehors de l'emploi des charpentes métalliques dans les palais des expositions et des gares, nous avons encore à parler de quelques applications intéressantes à des constructions ayant des destinations très diverses, telles que halles, galeries, salles

de fêtes, théâtres, hangars, docks, ateliers, magasins, observatoires, etc.

Nous allons citer quelques exemples de ces constructions.

Ancienne halle aux blés, à Paris (1809). — C'est la plus ancienne construction métallique que nous ayons à citer dans cet ouvrage. Elle date de 1809. Elle sert aujourd'hui de hall à la Bourse de commerce.

La coupole est hémisphérique et a $39^{m},26$ d'ouverture (fig. 257). Son ossature est en fonte et se compose de cinquante et un arbalétriers, en arc de cercle, assemblés à leur extrémité inférieure sur une sablière annulaire; à leur extrémité supérieure, ils s'appuient sur un cercle en fer forgé. Les arbalétriers sont formés de cinq tronçons de longueurs décroissantes de la base au sommet, dont les joints se trouvent aux points d'assemblage des pannes. Celles-ci sont circulaires et au nombre de quinze. La hauteur du sommet du lanterneau, qui domine l'édifice, au-dessus du sol, est de 40 mètres. (Le Creusot.)

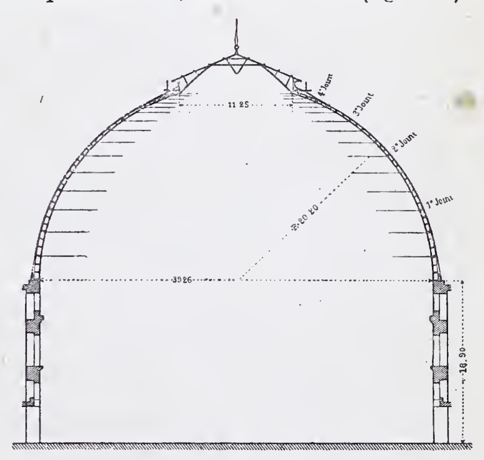


Fig. 257. — Ancienne halle aux blés, à Paris. (Coupe transversale du dôme.)

Grande salle de lecture de la Bibliothèque nationale (1865). — La partie la plus remarquable des travaux de restauration et de transformation très considérables, exécutés vers 1865, sous l'habile direction de Henri Labrouste, architecte, dans la Bibliothèque nationale, est la grande salle de lecture (fig. 258).

Le vaisseau consiste en une salle carrée de 1,300 mètres de surface, terminée sur une de ses faces par une partie elliptique. Seize colonnes en fonte, très légères, d'environ 10 mètres de haut,

soutiennent neuf coupoles en forme de calottes sphériques entamées verticalement par les arcs de retombée qui relient les colonnes, et ouvertes à leur partie supérieure par autant de lanternons circulaires. La surface des coupoles est revêtue de faïence émaillée. Les arceaux métalliques, à double nervure et à croisillons ornés, forment l'ossature solide du système, et le rendent indépendant de l'hémicycle, et même des murs environnants. Ils



Fig. 258. — Grande salle de lecture de la Bibliothèque nationale, à Paris.

étaient décorés d'arabesques en or, sur fond blanc. Un médaillon, se découpant sur fond d'or, se détache sur les deux parois de chacun des douze piliers en maçonnerie qui correspondent aux nervures transversales des voûtes de pourtour.

Cette œuvre fait un grand honneur à Henri Labrouste, qui a réalisé là un système nouveau.

Galeries Victor-Emmanuel, à Milan (1866). — L'ensemble de l'édifice se compose de quatre galeries aboutissant à une place centrale octogonale.

Les galeries, larges de 15 mètres environ, sont couvertes sur toute leur longueur par un berceau cylindrique reposant sur les murs des galeries et dont l'ossature est formée essentiellement de fermes identiques reliées par cinq cours de pannes; une lanterne vitrée forme toit au-dessus du milieu des galeries.

La place centrale est couverte par une coupole ou dôme sphérique (fig. 259) reposant sur huit points d'appui correspondant aux angles de l'octogone formé par les quatre galeries se croisant à angle droit et composé essentiellement :

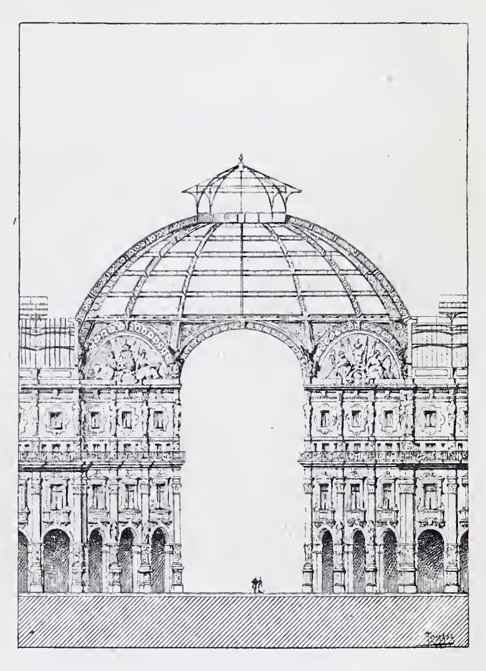


Fig. 259. — Dôme et galeries Victor-Emmanuel, à Milan.

De huit demi-fermes principales reposant sur les points d'appuis, reliées à leur pied par huit arcs demi-circulaires placés sur les huit côtés de l'octogone et aboutissant à leur sommet sur une couronne cylindrique de 10 mètres de diamètre;

De huit demi-fermes reposant sur le sommet des huit arcs et aboutissant à la couronne supérieure;

D'une forte ceinture reliant les fermes au-dessus de leur pied et de quatre cours circulaires de pannes;

D'une lanterne vitrée de 100 mètres carrés de surface environ, recouvrant la couronne centrale. (Société des Ponts et Travaux en fer, à Montataire.)

Albert-Hall. Kensington (1871). — L'Albert-Hall a la forme

d'une ellipse dont le grand axe a $66^m,85$ et le petit axe $56^m,49$. Le dôme est composé de trente demi-fermes en arc de cercle, dont les ouvertures varient de $56^m,49$ à $66^m,85$. Leurs extrémités inférieures reposent sur une sablière elliptique fixée sur le mur d'enceinte ; leurs extrémités supérieures s'appuient sur deux anneaux également elliptiques. Sur la sablière, formée par une poutre en double T, sont fixés des sabots en fonte évidés qui reçoivent les retombées des fermes.

Chaque demi-ferme est formée de deux arcs de cercle reliés par des bielles qui la divisent en sept panneaux entretoisés par des diagonales croisées. Un montant existe près des anneaux elliptiques du sommet.

Des cours de pannes formant des anneaux elliptiques, relient les fermes.

La hauteur libre au centre est de $46^m,63$.

National Agricultural Hall, à Kensington (1886). — Ce hall, d'une longueur de 114 mètres, comprend une galerie centrale de $51^m,80$ d'ouverture et deux galeries latérales, en appentis, de $12^m,20$ chacune (fig. 260). Les fermes de la galerie centrale sont constituées par des poutres en plein cintre de $2^m,15$ de hauteur, formées chacune de quatre arcs de cercle reliés par des semelles et des treillis. Les arcs sont espacés de $0^m,47$ et sont entretoisés par des croisillons jumelés, lesquels sont reliés eux-mêmes transversalement par des entretoises et des croisillons. Les fermes présentent une hauteur libre sous faîte de $30^m,70$; elles sont espacées de $10^m,35$ et sont réunies par douze cours de grandes pannes à treillis avec semelle inférieure en arc de cercle et par de petites pannes intermédiaires. Un chevron divise en deux l'espace compris entre deux fermes consécutives. Les fermes sont aussi contreventées par des croix de Saint-André formées de tirants en fer. Elles reposent à leur partie inférieure sur deux files de colonnes en fonte.

L'Hippodrome, à Paris (1878). — Tout le monde a connu la remarquable construction en fer de l'Hippodrome qui vient de dis-

paraître. Elle s'appuyait sur quatre grandes colonnes, écartées de 36 mètres dans le sens de la longueur et de 17 mètres dans le sens de la largeur, ces quatres colonnes placées dans la piste, et sur vingt autres colonnes placées en arrière des premières sur le pourtour de la piste.

Ce qui caractérisait la construction, c'était la disposition centrale de la toiture qui était divisée en deux parties reposant chacune sur des roues. Ces deux parties étaient ainsi mobiles et se

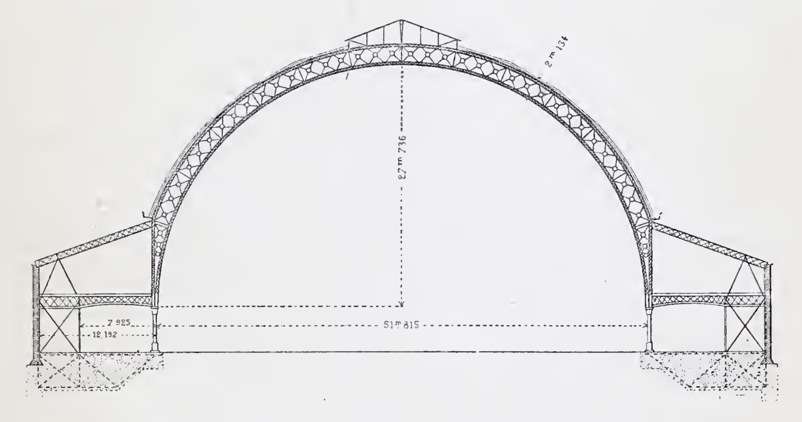


Fig. 260. — Agricultural Hall, à Kensington. (Coupe transversale.)

déplaçaient sous l'action de deux petits treuils. On donnait par là avec la plus grande facilité à volonté de l'air et de la lumière. La surface du lanterneau mobile était de 850 mètres carrés; la hauteur sous rail, de 22 mètres.

Arènes de la rue Pergolèse, à Paris (1889). — Ces arènes sont formées d'une galerie circulaire couverte de 97 mètres de diamètre extérieur et de 18m,70 de largeur (fig. 261). Le vide central de 59m,70 est couvert par une coupole sphérique percée, au sommet, d'une ouverture de 30 mètres de diamètre. Une lanterne couvre cette ouverture et est fermée elle-même par une calotte qui peut être soulevée de 4 mètres par un dispositif à eau comprimée, afin d'aérer la salle.

La coupole est portée par quinze poteaux en tôle de $29^{m},80$ de hauteur, dont les têtes sont reliées par une sablière polygonale à treillis et sont assemblées avec les arbalétriers de la galerie qui s'appuient d'autre part sur le mur d'enceinte. Les arbalétriers de la coupole sont des poutres courbes en double T, à croisillons; ils sont prolongés à leur pied par une console qui est fixée sur la face

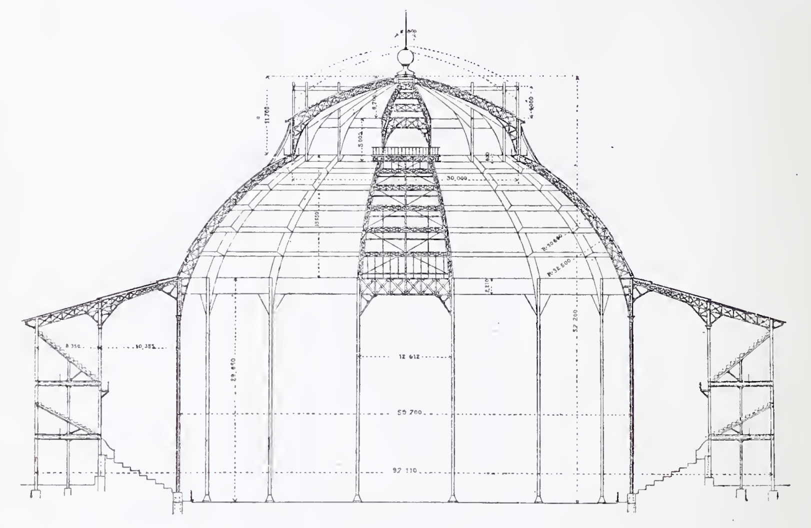


Fig. 261. — Arènes de la rue Pergolèse, à Paris.
(Coupe transversale suivant l'axe.)

intérieure des poteaux; à leur partie supérieure ils sont assemblés sur une ceinture portant un balcon intérieur; des pannes et des chevrons complètent l'ossature de la coupole.

La calotte mobile est formée de quinze arbalétriers courbes à treillis, dont les pieds sont reliés par une ceinture et sont prolongés par des consoles dont la partie verticale est munie de galets roulant sur des poteaux-guides fixés sur la ceinture supérieure de la coupole. Cette construction va être démolie. (Moisant, Laurent et Savey.)

Théâtre à Pernambuco. — S'il est des monuments dans les-

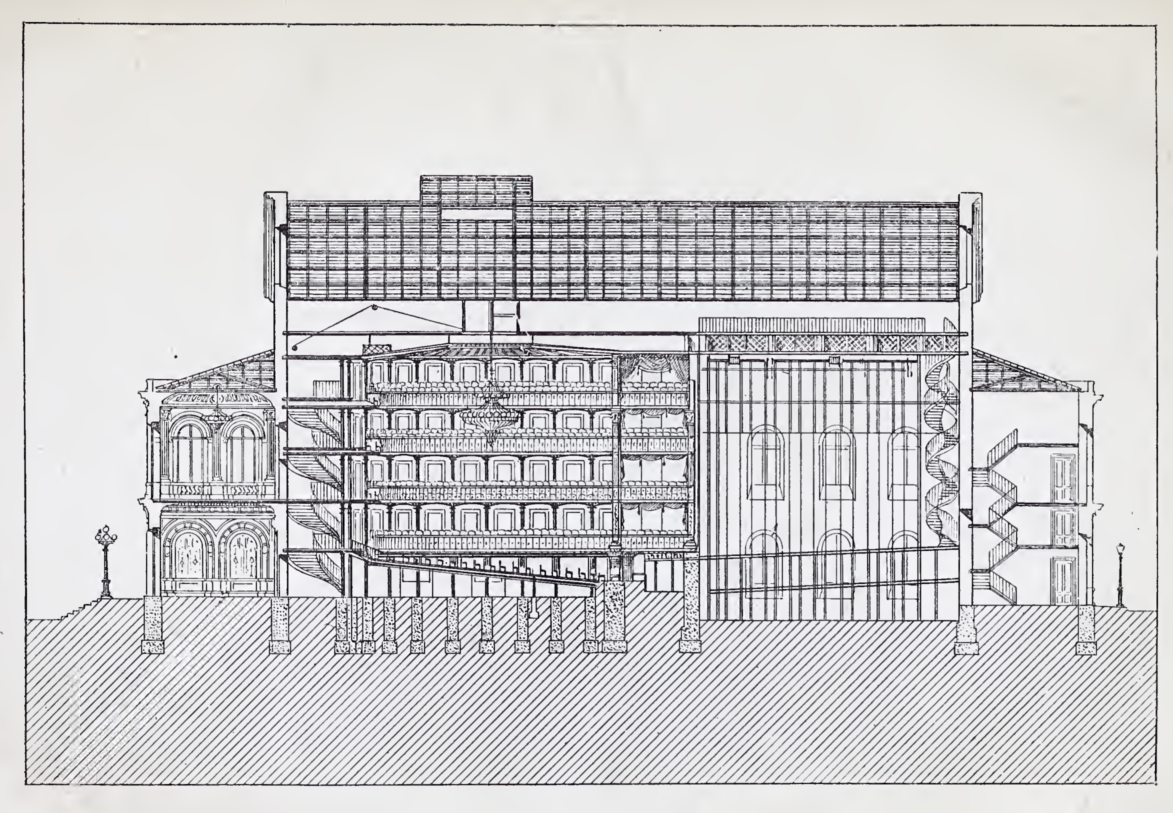


Fig. 262. — Théâtre de Pernambuco. (Coupe longitudinale.)

quels l'emploi du fer semble devoir être particulièrement recommandé, ce sont à coup sûr les théâtres dans lesquels les causes d'incendie sont nombreuses et leurs conséquences si désastreuses.

Jusqu'ici on n'a construit en fer qu'un nombre assez restreint de théâtres ; mais il est à penser que ce mode de construction se généralisera.

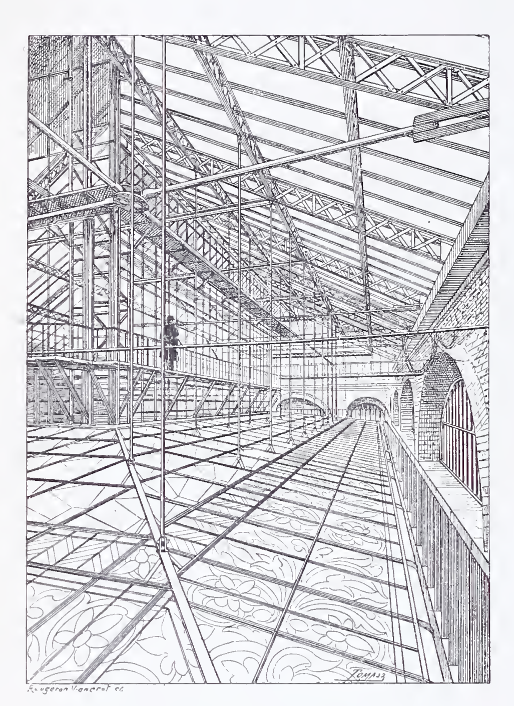


Fig. 263. — Comptoir d'escompte, à Paris.

Nous citerons le théâtre Élisabeth, à Pernambuco, qui fut détruit par un incendie et dont la reconstruction entièrement en fer fut décidée. Dans cette construction, dont les détails sont donnés par la figure 262, l'emploi du métal a été poussé aussi loin que possible : outre les charpentes, les planchers et les balustrades des galeries sont en fer. Le théâtre de Pernambuco présente les dimensions des grandes salles de Paris. (Ingénieur : M. Vauthier. — Constructeurs : MM. Moisant, Laurent, Savey et Cie.)

Comptoir d'Escompte, à Paris (1883). — On y remarque le vaste hall à plafond vitré, conçu par M. Corroyer (fig. 263). Au dessus, règne un comble vitré non moins digne d'attirer l'attention et pour lequel des dispositions heureuses ont été adoptées au point de vue de l'aérage et de la ventilation.

Le poids de la partie métallique s'élève à environ 1,575 tonnes.

Hangars-docks du Havre. — Ces docks sont destinés à recevoir les marchandises que les paquebots débarquent dans le port du Havre. La figure 264 montre qu'il y a un petit nombre de points d'appui de façon à faciliter la manutention des marchandises dans l'intérieur des halles ; elle indique aussi la constitution des fermes.

Entrepôts de Nantes. — Ces entrepôts ont été construits pour le compte de la société des Magasins généraux de Paris, sur le bord

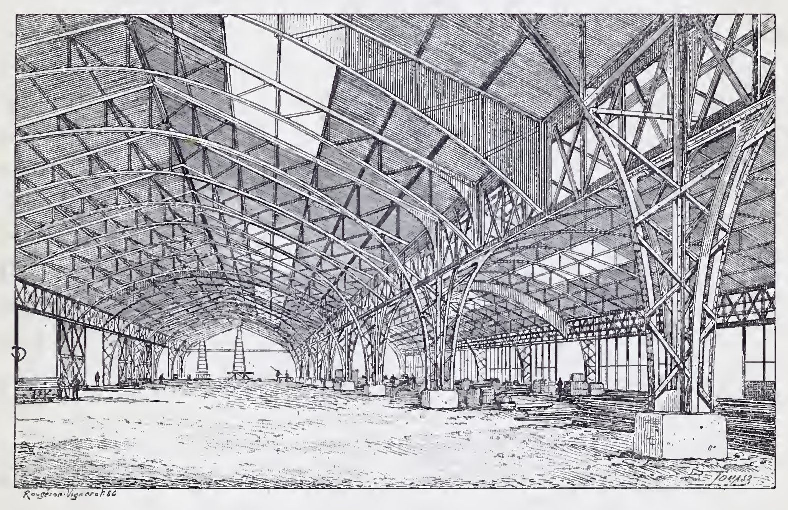


Fig. 264. — Hangars-docks du Havre. (Vue intérieure.)

de la Loire, à Nantes, et présentent une surface de 2,200 mètres carrés.

Ils sont composés de deux corps de bâtiments semblables comportant chacun quatre étages : un rez-de-chaussée en terre-plein et trois planchers.

La surface totale disponible pour les marchandises est ainsi de 9,000 mètres carrés.

Les fondations ont été faites à l'air comprimé ; mais pour limiter le nombre des massifs de maçonnerie devant supporter les piliers, on a réduit le nombre des piliers en leur donnant des écar-

tements, de $8^m,165$ dans le sens des poutres et de $8^m,25$ dans le sens des solives, qui sont considérables pour des planchers chargés à raison de 1,200 kilogrammes par mètre superficiel.

L'ossature métallique se compose des piliers, des trois planchers et des combles.

Des murs en élévation forment la façade des bâtiments et ne supportent aucune charge.

Les magasins peuvent recevoir environ 11,000 tonnes de marchandises.

Le prix par mètre superficiel de planchers, tout compris, sauf l'achat du terrain, revient à 56 francs. (Ateliers de Creil.)

Succursale du Mont-de-Piété, à Paris. — Les magasins de cette succursale construits rue Capron, à Paris, présentent un type intéressant de construction de laquelle tout élément combustible a été rigoureusement proscrit (fig. 265).

Ces magasins forment un rectangle de 17 mètres sur $26^m,50$ et comprennent cinq étages de $2^m,20$ de hauteur sur rez-de-chaussée. Des balcons entourent deux grandes cours surmontées d'un lanterneau. A chacune des extrémités, on a en outre installé des verrières s'étendant sur toute la largeur des cours.

Dans les passages entre les casiers et sur les balcons, le sol est formé par un caillebotis en fer qui laisse passer librement l'air et la lumière. L'escalier, les planchers, le mobilier même, tout est en fer.

Les magasins sont divisés en trois travées séparées par les deux cours. (Architecte : M. E. Belot. — Constructeurs : MM. Dubois et Nicolle.)

Établissement Menier, à Noisiel. — Un vaste bâtiment à cinq étages, dont la figure 266 représente l'ossature métallique, a été construit à la chocolaterie Menier, de 1869 à 1872, en utilisant les piles d'un ancien moulin.

Les murs de refend ou de façade sont formés de pans de fer. Ce bâtiment sert à l'élaboration des matières premières. La partie métallique pèse environ 1,000 tonnes.

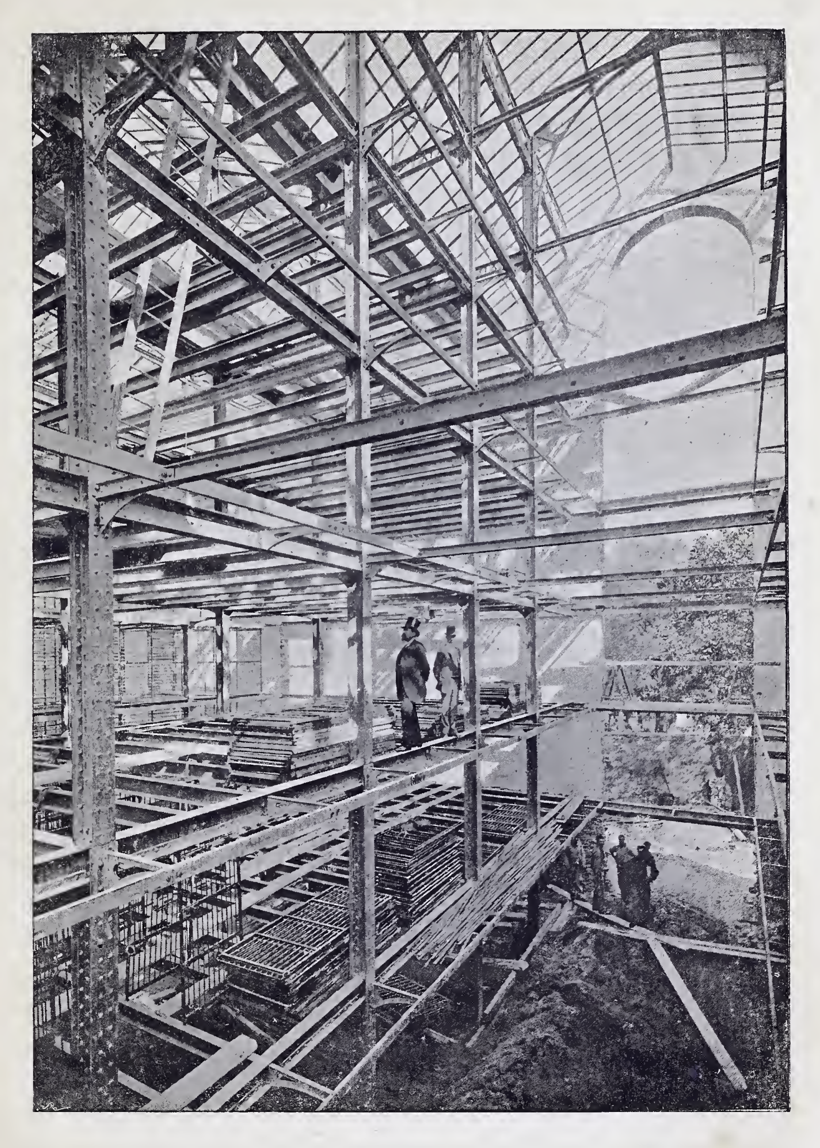


Fig. 265. — Succursale du Mont-de-Piété, rue Capron, à Paris.
(Ossature intérieure.)

Atelier du Landy (Cie parisienne du gaz) (1888). — Cet atelier présente des fermes de 30 mètres de portée sans tirant. Chaque ferme pèse 22 tonnes et a été montée en trois morceaux, les deux pieds et les arbalétriers, au moyen de pylônes roulants, à rallonges,

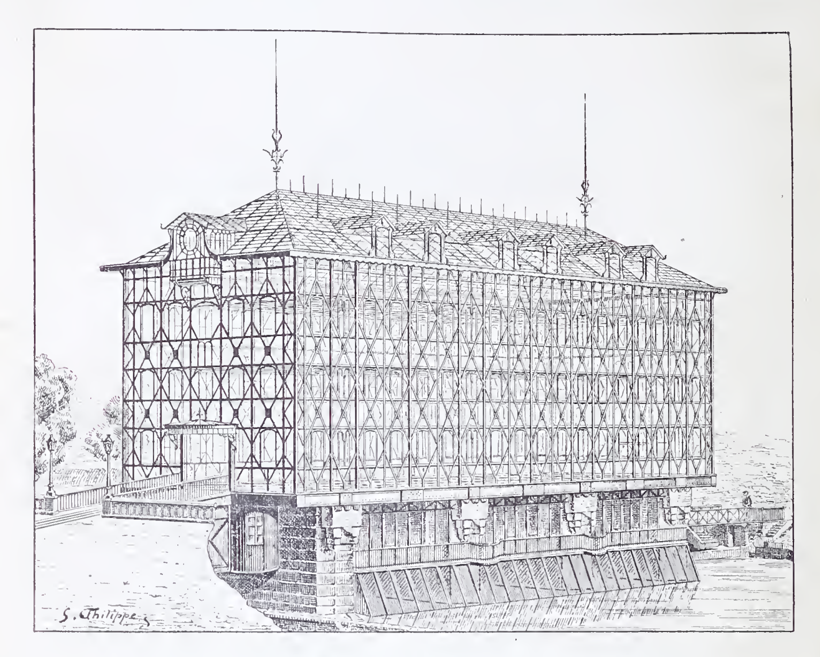


Fig. 266. — Usine Menier, à Noisiel. (Ossature métallique.)

qui permettaient de travailler à une hauteur variable et qui pouvaient circuler sous les fermes déjà en place.

Le Bon Marché, à Paris. — Les constructions métalliques du Bon Marché forment un ensemble considérable commencé en 1870 et terminé en 1887 ; ils consistent en poutres, planchers, combles et lanternes vitrées couvrant les cours intérieures, balcons, balustrades, etc. La figure 267 représente une coupe générale faite sur le plus petit côté du Bon Marché.

Il existe un sous-sol à deux étages qui a nécessité l'installa-

tion d'un cuvelage en fer sur 1,000 mètres carrés pour empêcher l'infiltration des eaux.

Le tonnage du fer et de la fonte employés dans l'ensemble des constructions du Bon Marché est d'environ 8,000 tonnes, non compris la serrurerie artistique.

Les grands magasins du Printemps. — Nous nous appesantirons un peu sur les magasins du Printemps qui sont le type le

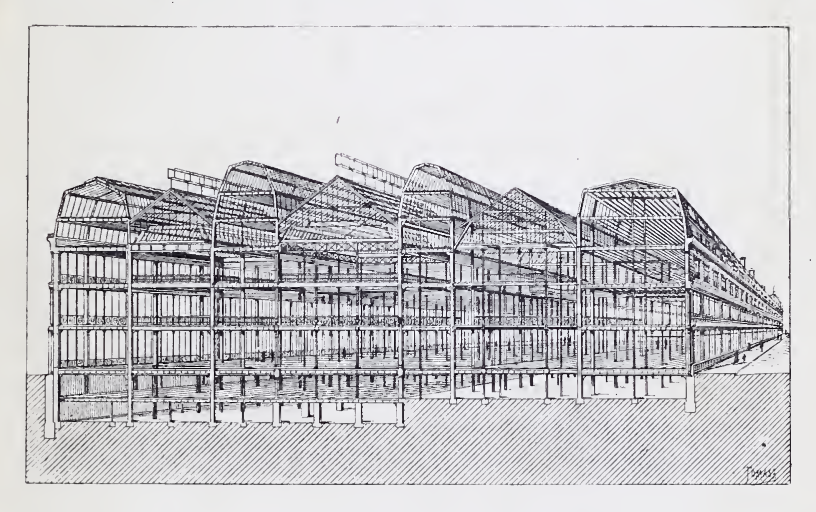


Fig. 267. — Le Bon Marché, à Paris. (Ossature métallique.)

plus complet et le plus réussi de l'architecture nouvelle (fig. 268). Nous empruntons les renseignements qui suivent à la note publiée dans l'*Encyclopédie d'architecture* sur l'œuvre remarquable exécutée par l'habile architecte, M. Paul Sédille, pour le compte de M. J. Jaluzot.

Les dispositions générales du projet d'ensemble étant arrêtées, il était indispensable de le réaliser de la façon la plus rapide, la plus durable et la plus décorative tout à la fois. Le Printemps ne devait pas seulement offrir le cube nécessaire à la juxtaposition de nombreux comptoirs de vente et à l'entassement des produits

les plus variés, on voulait encore qu'il s'accentuât au dehors par des aspects capables de fixer l'attention. Il fallait avant tout ménager la surface donnée. On ne pouvait donc pas songer aux constructions de maçonnerie, qui, pour porter de grandes charges, devaient occuper des surfaces absorbant la place, le jour et interceptant le regard. Il fallait prendre parti pour une construction métallique, en ne gardant la pierre que pour former enveloppe monumentale et indépendante de l'édifice. Mais la fonte demande des modèles très longs à établir, longs à couler. De plus elle se prête mal à la flexion, et il fallait largement tenir compte de cet élément de trouble dans les constructions à élever par parties successives, étroites et d'abord isolées. Le fer au contraire, par ses qualités de résistance et de souplesse réunies, devait permettre le raccordement facile de ces parties entre elles pour en former, par un mode constant d'assemblage, un tout absolument homogène et solide. Le fer se prêtait aussi à une exécution relativement rapide. Il imposait en outre, par les éléments bruts (tôles et fers, cornières) mis au service de l'architecte, l'obligation de formes très sobres, dérivées des matériaux eux-mêmes et par suite caractéristiques. Le fer fut donc adopté comme élément pour ainsi dire exclusif de construction, permettant l'espacement des points d'appui et leurs sections réduites.

Mais s'il est avantageux au point de vue commercial de diminuer autant que possible l'ossature d'un édifice, il faut encore trouver place pour ses éléments vitaux. C'est un corps qui a besoin de chaleur et d'air renouvelé, qui doit être alimenté, éclairé, etc., et cela par des procédés tenant le moins de place réelle et apparente. C'est pourquoi les points d'appui de l'édifice furent conçus par l'architecte sous forme de piliers creux en fer de $0^{m},50$ au carré, divisés par une âme formant à l'intérieur de chaque pilier deux conduits distincts. C'est à l'intérieur de ces piliers que se dissimulent tous les services de chauffage, de ventilation, d'électricité et d'acoustique, que montent ou descendent tous les tuyaux d'alimentation d'eau et les tuyaux qui entraînent au dehors les eaux pluviales et ménagères.

Ces piliers reçoivent encore les colonnes d'eau montantes contre l'incendie et constituent ainsi les supports en même temps que la canalisation générale de l'édifice.

Le Printemps est aujourd'hui connu de tous. Nous ne ferons qu'une description sommaire de sa façade, de ses galeries, de son hall d'entrée et de sa grande nef intérieure. Nous signalerons le mode de décoration polychrome adopté par l'architecte. Il est à remarquer que le bronze est partout l'élément décoratif du fer ; en effet, pour orner le fer utile, on a cru devoir faire appel à un autre métal. Les ornements en fer forgé eussent été trop grêles d'aspect et se seraient peu détachés de l'ensemble. De plus le fer demande un entretien de peinture constant. Le bronze, au contraire, supporte aisément les intempéries et, par ses masses, se prête davantage aux effets décoratifs. Aussi l'architecte en a-t-il fait le décor constant de la construction en fer, en ayant soin d'accentuer la différence des métaux au profit de la coloration générale. Tous les fers extérieurs sont donc peints en tons gris, avec quelques rehauts de bleu sombre, tandis que les bronzes restent sous une patine chaude quand ils ne sont pas dorés en plein.

Les façades sur rues sont divisées en travées par des piles en pierre largement espacées ; elles n'offrent, de la base au sommet, qu'une grande surface vitrée, interrompue seulement par des poutres en fer d'entretoisement qui, aux deux étages supérieurs, servent de soutien aux corniches en pierre couronnant l'édifice. Ces travées sont subdivisées elles-mêmes par de minces meneaux en fer d'un seul jet à section rectangulaire.

Ces meneaux, au nombre de quatre par travée, forment en réalité d'immenses châssis rigides et indéformables. Ces châssis constituent, avec les piles en pierre de soutien, une enveloppe extérieure de l'édifice, indépendante de sa structure intérieure. Au-dessus de ces façades latérales se développent les nervures d'un comble circulaire à deux étages que domine une balustrade en fonte.

La grande façade sur la rue du Havre est constituée principalement par deux pavillons circulaires de pierre, surmontés de dômes

métalliques, entre lesquels se trouve le porche percé de trois grandes arcades plein-cintre correspondant au hall d'entrée. L'ossature des dômes des pavillons est formée de fermes et pannes curvilignes en fer, ne présentant que 16 centimètres d'épaisseur. Elle s'assemble sur une cerce en tôle et cornière encastrée dans la portion du pavillon en façade et dans les piles intérieures en pierre qu'elles chaînent ainsi parfaitement. La partie supérieure de cette ossature se termine par un tambour d'assemblage en tôle.

Le hall ou vestibule d'entrée a été couvert de poutres principales, rayonnant de la façade vers le fond, et de poutrelles curvilignes formant encadrement de riches motifs en mosaïque. Toutes ces poutres sont elles-mêmes ajourées et mouvementées d'ornements en bronze doré qui parent cette charpente métallique d'une façon tout à fait inusitée. Au delà du hall et de ses rotondes, dans les galeries de vente, le décor n'apparaît plus que comme accentuation discrète de la construction. Le fer domine partout et l'utile devient la raison d'être de toutes les formes. C'est ainsi que l'effet perspectif des longues galeries résulte de la disposition apparente des planchers en fer. Les entrevous seuls reçoivent une décoration peinte qui vient égayer de notes claires la masse grise des fers. Ainsi sont compris le rez-de-chaussée, l'entresol et les deux étages au-dessus. Les étages supérieurs réservés aux différents services sont absolument réduits à la construction apparente pour toute décoration.

Il nous reste à parler de la grande nef. Ce vaste vaisseau de 50 mètres de longueur sur 12 mètres de largeur et d'une hauteur de 20 mètres, sous double comble vitré, est destiné à éclairer et à aérer l'édifice. Il a encore pour but de réunir et d'ouvrir sur un centre commun toutes les galeries de vente des différents étages. Un pont transversal, à hauteur de l'entresol, avec plancher en dalles de verre meuble le milieu de la nef, tandis qu'au premier étage deux passerelles légères occupent l'espace et diminuent le parcours entre les galeries opposées. Aux deux extrémités de la nef, de larges escaliers montent à l'entresol. Dans cette vaste nef le décor

reprend ses droits; en outre des bronzes, des ors et des terres émaillées, le fer s'enrichit de pièces de fonte qui remplissent les



Fig. 268. — Les grands magasins du Printemps. (Vue intérieure.)

tympans des arcs, qui couronnent le sommet des piliers élancés et forment retombées aux arcs ajourés du comble. Un grand plafond

en vitraux complète les éléments de coloration et de décoration de la nef intérieure.

Le comble vitré est supporté par des fermes en plein cintre très ajourées et ornées de balustres, de fleurons, rosaces, etc., retombant sur les chapiteaux très riches en fonte et bronze, dont sont habillés les grands piliers du hall à la hauteur du plancher du deuxième étage. Ces chapiteaux reçoivent également la retombée des arcades en tôle et cornières, également ajourées, qui encadrent chaque travée de ce deuxième étage. Le vitrage de ce comble comprend un large lanternon.

Cette voûte décorative est elle-même abritée par un autre comble vitré, surélevé de $3^{m},80$ environ qui porte un lanternon vitré à châssis articulés, qui permet d'établir rapidement la ventilation du hall.

Il était intéressant de diminuer autant que possible l'épaisseur du plancher, en raison de la multiplicité des étages. L'architecte a atteint ce résultat en se servant pour les entrevous du plus petit échantillon des solives en fer double T ordinaire du commerce. Le hourdis est formé de briques creuses posées à bain de plâtre sur entretoises en fer de 14 millimètres et fentons de 11 millimètres ; on a pu réduire à 19 centimètres l'épaisseur du plancher, compris plafond, lambourdes et parquets. Ces entrevous reposent sur les ailes intermédiaires de longues poutrelles en forme de triple T. Des poutres principales, reliant les piliers, reçoivent à leur tour, au moyen d'un sabot de fonte, l'extrémité des poutrelles. Les entrevous et les poutres principales ont leur partie supérieure noyée dans le hourdis. On a ainsi obtenu un plancher très réduit comme épaisseur et une décoration naturelle et sobre du plafond par ces poutres et solives apparentes à têtes de rivets saillantes bien symétriquement établies. Les calculs donnaient une charge totale de 800 kilogrammes par mètre carré de plancher pour chaque étage des magasins. Le plancher du rez-de-chaussée a été établi pour une charge totale de 1,200 kilogrammes en renforçant les poutres et diminuant les entrevous.

Les charges des différents planchers ainsi bien déterminées, on a calculé les sections des piliers en les considérant comme encastrés à chaque étage, en raison des vigoureuses attaches des poutres et des consoles. Ces piliers ont des charges variées, suivant qu'ils sont sur le périmètre extérieur de la construction et du hall, ou qu'ils sont à l'intérieur, plus ou moins éloignés les uns des autres.

Les piliers, en forme de double T, sont formés d'une âme de 450×12, réunie par des cornières à des plates-bandes en nombre variable (de 2 à 5), suivant la charge à supporter. De plus, quatre cornières sont placées à l'intérieur du double T, sur le bord des plates-bandes. Les piliers les plus chargés ont reçu deux âmes supplémentaires. Les poutres et les solives sont formées de double T, avec un nombre variable de plates-bandes.

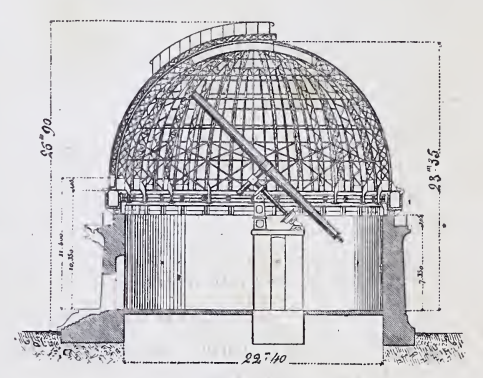


Fig. 269. — Coupole du grand équatorial de Nice. (Coupe.)

Coupole de l'observatoire de Nice. — La nouvelle coupole du grand équatorial de l'observatoire de Nice est une construction des plus intéressantes (fig. 269). Cette coupole, établie par la maison Eiffel, sous la direction de M. Charles Garnier, a un diamètre de $22^{m},40$ qui en fait de beaucoup la plus grande de celles qui existent. Elle présente cette particularité qu'au lieu de tourner sur des galets, elle est supportée par un flotteur annulaire. Ce flotteur plonge dans un réservoir également annulaire, renfermant un liquide incongelable.

Cette disposition permet de déplacer à la main une masse considérable de plus de 100 tonnes. Un système de galets de secours, placé à côté du flotteur, donne la possibilité, en cas de besoin, de faire mouvoir la coupole par le système ordinaire.

Une ouverture de $3^m,20$ de largeur est ménagée dans la coupole pour permettre les observations. Cette ouverture se ferme au moyen d'un système de deux grands volets courbes extérieurs, roulant sur des rails parallèles à l'aide d'un mécanisme qui permet une fermeture très rapide.

Le hall de l'hôtel Terminus, à Paris (1889). — Le hall de l'hôtel Terminus (fig. 270), que la Compagnie de l'Ouest a fait construire à la gare Saint-Lazare, à Paris, et qui est exploité par la Société des grands magasins du Louvre, est un exemple des plus intéressants de l'emploi du fer comme élément de construction et de décoration dans l'architecture.

Le hall a la forme rectangulaire et tout autour, aux trois étages, sont des galeries.

Le grand côté intérieur comprend cinq arcades surmontées de baies rectangulaires. Les arcades sont formées par des arceaux en fonte supportés par des piliers; chacun des piliers est constitué par deux colonnes en fonte réunies, dans leur hauteur, par trois entretoises. Les baies sont divisées par deux montants en fonte.

Entre les colonnes on aperçoit un escalier, avec rampes en fer, qui conduit au premier étage.

L'autre grand côté du hall est en pierre. Les deux petits côtés comprennent trois arcades semblables aux précédentes.

Chaque pilier en fonte est continué par un montant vertical, en tôle et cornières, qui s'élève entre les naissances des archivoltes des arcades et supporte une poutre transversale régnant au-dessus de l'extrados des archivoltes. Les montants verticaux sont enveloppés de maçonnerie.

Les archivoltes forment une espèce de caisson en tôle composé de deux flasques reliées par des entretoises en fer et enrichies de décors.

Une charpente en fer, marquée à l'intérieur par un plafond en vitraux, couvre le tout. La décoration du hall est remarquable. (M. E. Clerc, Directeur des travaux de la Compagnie de l'Ouest, M. Lisch, Architecte.)

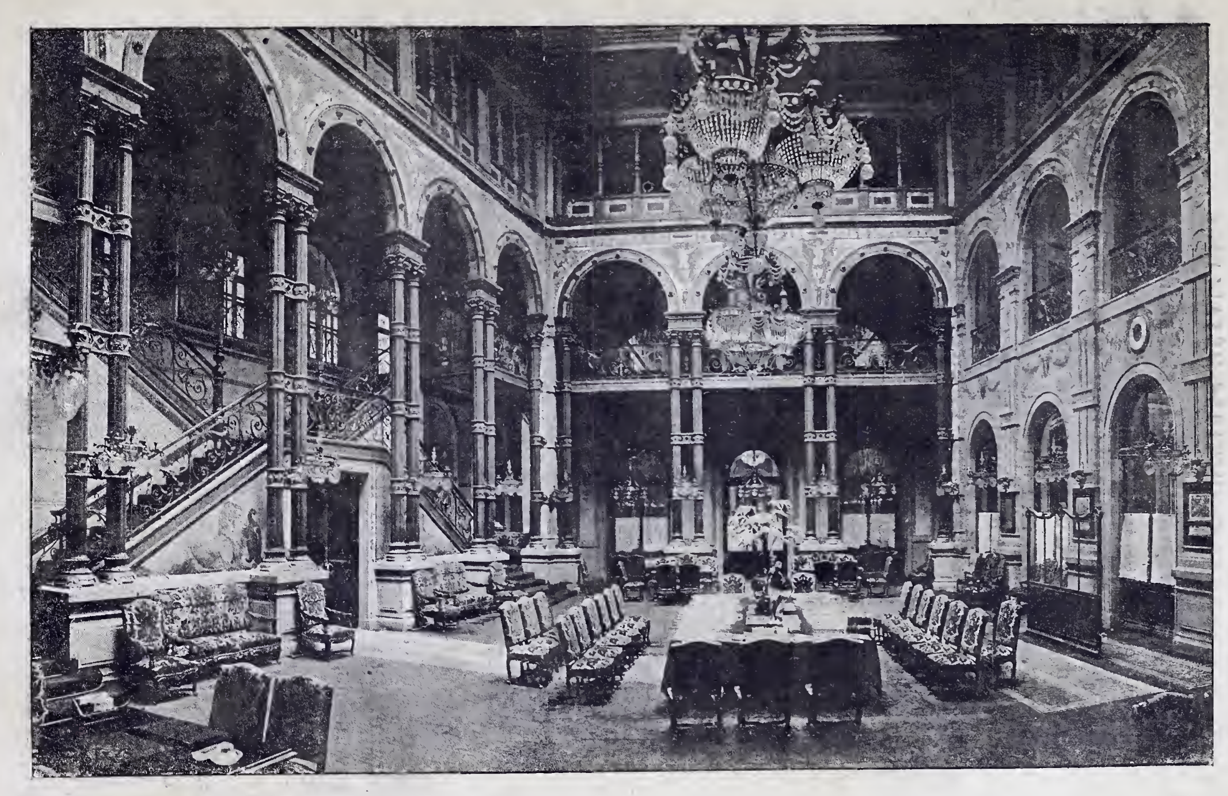


Fig. 270. — Hall de l'hôtel Terminus, à la gare Saint-Lazare, Paris.

Bâtiment des voyageurs de la station de Meulan (1892). — Les différentes parties d'une construction en métal pouvant être rendues solidaires, on a parfois recours à une construction de ce genre quand il s'agit d'élever un bâtiment sur un sol sujet à des mouvements. On comprend qu'un bâtiment en maçonnerie risquerait dans ces conditions d'être atteint de lézardes qui pourraient en compromettre la stabilité. Une construction métallique peut, au contraire, supporter sans déformation dangereuse de semblables mouvements, et elle présente en plus l'avantage de pouvoir être relevée dans son ensemble au moyen de vérins.

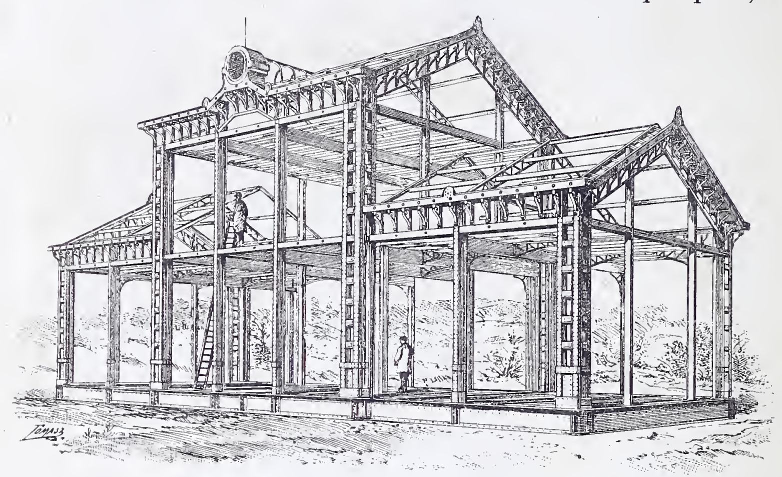


Fig. 271. — Bâtiment de la station de Meulan.
(Vue de l'ossature du bâtiment.)

C'est dans cet ordre d'idées qu'ont été construites les gares de Saint-Étienne, d'Angers-Saint-Serge, et récemment (1892), le bâtiment des voyageurs de la station de Meulan, sur la ligne d'Argenteuil à Mantes.

Pour cette dernière gare, le problème était le suivant :

Élever le bâtiment des voyageurs sur un remblai de 12 mètres de hauteur, remblai qui reposait lui-même sur un sol ne présentant pas toutes les garanties désirables de solidité.

Voici comment on a résolu ce problème : on a élevé sur le sol naturel des fondations formées de piliers en maçonnerie reliés par des voûtes. C'est sur ces piliers que repose la construction en pans de fer et briques. L'ossature est représentée par la figure 271, et le bâtiment terminé par la figure 272.

Si des mouvements se produisent dans le sol et dans les piliers

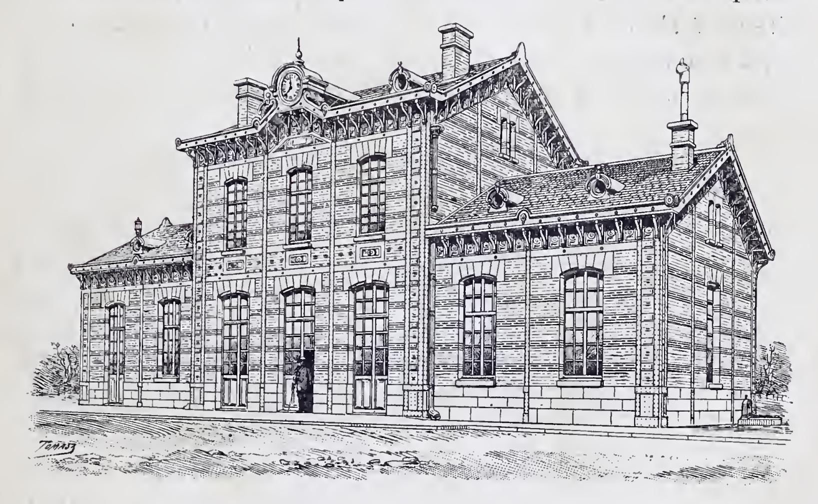


Fig. 272. — Bâtiment de la station de Meulan.
(Vue du bâtiment terminé.)

et si, par suite, le bâtiment se penche, on pourra le relever à l'aide de vérins.

Le poids total de la partie en élévation de la construction est de 571,000 kilogrammes.

Habitations métalliques[1]. — L'emploi exclusif du fer ou de l'acier dans la construction des habitations n'est pas encore très répandu. On a reproché aux constructions de ce genre d'être relativement lourdes et coûteuses, froides en hiver et chaudes en été, et enfin d'être d'un aspect peu architectural.

1. *Génie civil.*

Cependant quelques constructeurs, rompant avec les préjugés, ont monté des ateliers pour la fabrication courante d'habitations complètement métalliques (fig. 273). Ils ont adopté un système de construction qui supprimerait les inconvénients signalés et grâce auquel on aurait des maisons confortables et de prix modérés. Dans ce système, en effet, tous les éléments concourent à la solidité générale du bâtiment, ce qui a pour conséquence de réduire le poids autant que possible et par suite de diminuer la dépense; en même temps on arrive à soustraire les appartements aux variations de température extérieure; enfin on donne aux tôles des formes décoratives convenables.

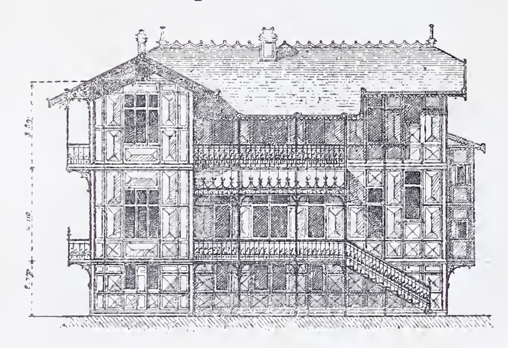


Fig. 273. — Habitation métallique.

Ces trois desiderata se trouvent réalisés dans le système *Danly* (ateliers de construction d'Haumont, Nord) de la façon suivante :

Tous les murs présentent deux parois et se décomposent, en quelque sorte, en un certain nombre de solides creux posés par assises horizontales. Ces assises sont formées, d'une part, par des panneaux en tôle d'acier emboutis qui se font face dans les deux parois, et, d'autre part, par de larges plats transversaux qui séparent les assises horizontales et entretoisent les panneaux. Entre les joints s'adapte l'âme de fers à T. Ces fers masquent les joints et contribuent à augmenter la solidité du mur. Les assemblages de tout l'ensemble se font à l'aide de boulons, ce qui rend les constructions essentiellement démontables. La grande résistance de ces murs provient de leur forme en caisson, combinée avec la grande rigidité qu'acquièrent les tôles par l'emboutissage.

L'écartement des parois et la ventilation que l'on réalise aisément dans les murs empêchent la transmission dans les pièces de

la chaleur extérieure; en interrompant, au contraire, cette ventilation, on emprisonne une masse d'air qui, servant de matelas isolant, s'oppose à l'introduction du froid extérieur.

L'emboutissage donne aux tôles des formes architecturales.

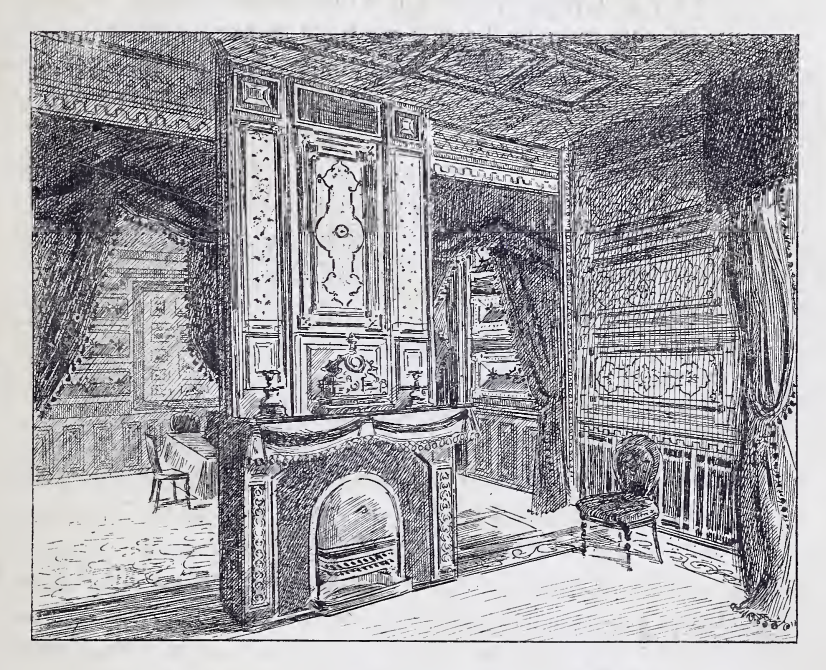


Fig. 274. — Vue intérieure d'une habitation métallique.

La décoration de semblables habitations s'obtient très facilement et à peu de frais par la peinture des panneaux.

L'expérience n'a pas encore consacré la durée de ces constructions; mais les inventeurs la prétendent illimitée, grâce à la qualité du métal qu'ils choisissent, à la galvanisation qu'ils lui font subir et à la peinture dont ils le recouvrent.

Le système de constructions exclusivement métalliques, qui peut s'appliquer aux bâtiments destinés aux usages les plus variés,

est particulièrement recommandable : dans les pays exposés aux tremblements de terre, attendu que tous les éléments constituant l'édifice dépendent les uns des autres, ce qui rend impossible la chute des matériaux; dans les endroits où les terrains sont peu solides et où l'on peut craindre des dénivellations plus ou moins prononcées, comme nous l'avons vu pour la station de Meulan; si l'on veut éviter de faire des fondations; pour des installations provisoires ou susceptibles d'être déplacées; dans les pays où les matériaux sont rares et la main-d'œuvre d'un prix élevé, etc.

Ces constructions ont l'avantage de supprimer les échafaudages ; on se sert uniquement de consoles très légères en fer, sur lesquelles on pose des planches et qui sont fixées aux murs en tôle par des broches enfilées dans les trous des boulons d'assemblage.

Les murs étant creux se prêtent on ne peut mieux à l'installation des tuyaux pour le chauffage, pour l'eau, les fils électriques tuyaux acoustiques, etc.

Ces maisons sont à l'abri de la foudre et de l'incendie.

La figure 274 représente l'intérieur d'une habitation métallique construite à doubles parois en tôle d'acier embouties et galvanisées.

Planchers métalliques. — En dehors des constructions dont nous venons de parler et dans lesquelles le métal entre pour la majeure partie ou du moins pour une grande part, on fait encore usage, dans une certaine mesure, du fer et de l'acier dans les maisons en maçonnerie, particulièrement pour la confection des planchers.

Les avantages du fer comme matière servant à la confection des planchers des constructions ont été tellement bien établis que son emploi s'étend de jour en jour et que de nouveaux types sont proposés par les inventeurs. En vertu de leur incombustibilité, de leur propriété de ne pas absorber l'humidité, les planchers métalliques conviennent spécialement pour les magasins de toute espèce. D'un autre côté, leur faible épaisseur permet d'augmenter le volume utilisable des locaux.

Nous ne donnerons pas la description de ces planchers que tout le monde connaît.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, nous nous sommes borné à traiter seulement des charpentes métalliques comme constructions diverses en métal. Le cadre de notre ouvrage ne nous permet pas d'y mentionner certaines constructions qui, bien qu'essentiellement métalliques, sont plus spécialement du domaine d'autres branches de l'Industrie, telles que les *Chemins de fer,* la *Navigation,* l'*Hydraulique,* etc.

Nous voulons parler, par exemple, des barrages, des écluses avec portes métalliques, des phares, des ascenseurs comme celui des Fontinettes, des souterrains avec revêtement métallique, etc.

Ces constructions trouveront place dans les autres volumes de la Bibliothèque des Sciences et de l'Industrie.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

Chapitre IV. — *Ponts suspendus.*

Chapitre V. — *Ponts mobiles.*

Chapitre VI. — *Détériorations et destruction des ouvrages métalliques. Moyens d'y remédier.*

DEUXIÈME PARTIE

Les charpentes métalliques.

Chapitre premier.

Chapitre II.

Chapitre III.

Chapitre IV.

Chapitre V.

